Site de La Crau, fuite d'un pipeline de pétrole

Biostimulation des phénomènes d'atténuation naturelle : comment évaluer in-situ la faisabilité d'une mise en œuvre à grande échelle

GROUPE IRH Environnement

ICF Environnement
LES SOLS, LES RISQUES, LA SANTÉ

ICF Environnement
LES SOLS, LES RISQUES, LA SANTÉ

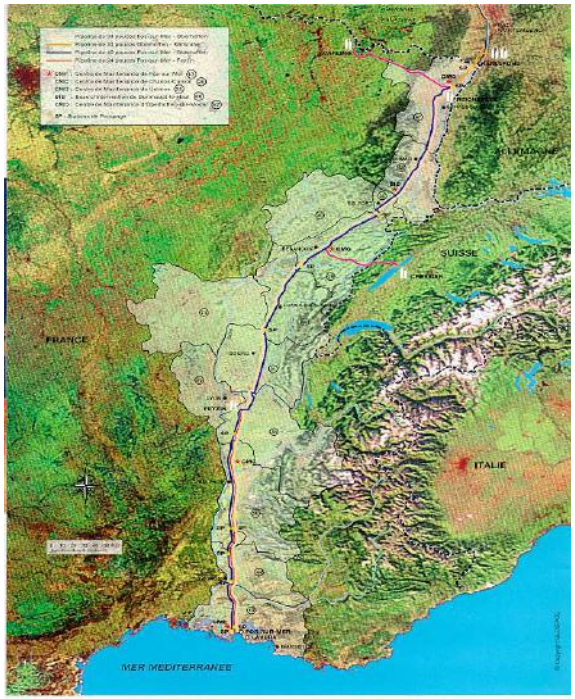
SOMMAIRE

- Evènement accidentel du 7 août 2009 et enjeux associés
- Travaux réalisés
- Etudes de faisabilité d'une Atténuation Naturelle
- Essai pilote de biostimulation
- Enseignements
- Questions / Réponses

L'évènement accidentel du 7 août 2009

Ouvrage concerné

- PL2 de 40'' (*102cm*) de diamètre
- Longueur : 714 km
- Transports de produits pétroliers pour :
  - Raffineries PETROPLUS de Reischtett (67) et Cressier (Suisse)
  - Plateforme Pétrochimique de Carling
  - Raffinerie de MIRO (Allemagne)



5 ha impactés au cœur de la Réserve Naturelle des Coussouls de Crau

4800 m³ de pétrole répandu

Une pollution visible de l'Espace…

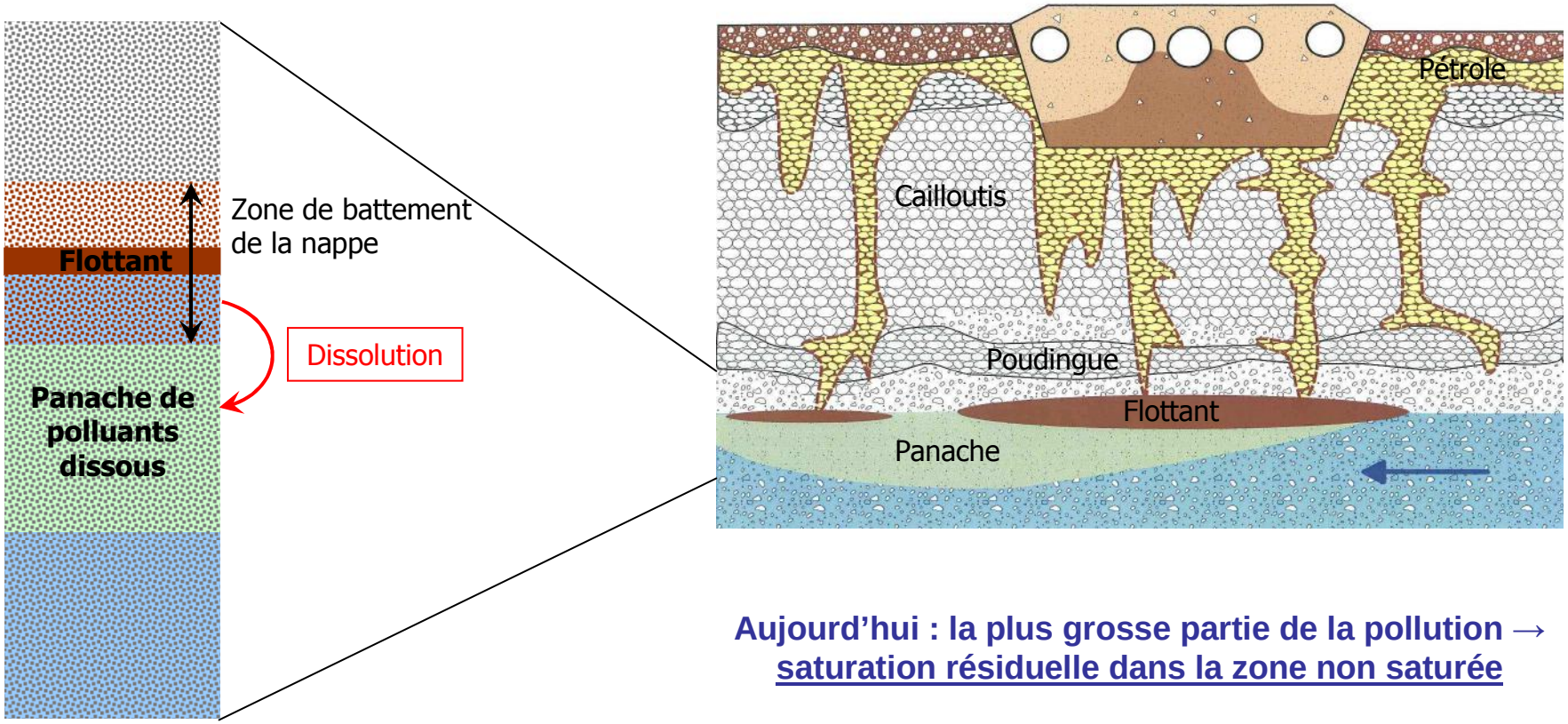
…dans un contexte environnemental exceptionnel

Réserve morcelée de 7400 ha qui abrite l'une des dernières steppes d'Europe :
- ✓ **Particularité : pastoralisme**
- ✓ **Espèces endémiques (criquet de Crau, Ganga cata)**
- ✓ **Natura 2000 depuis janvier 2010**

Nappe de la Crau présente au droit du site :
- ✓ **étendue : 520 km²**
- ✓ **intensivement exploitée : 1200 points d'eau implantés**
- ✓ **Ressource stratégique pour l'AEP**

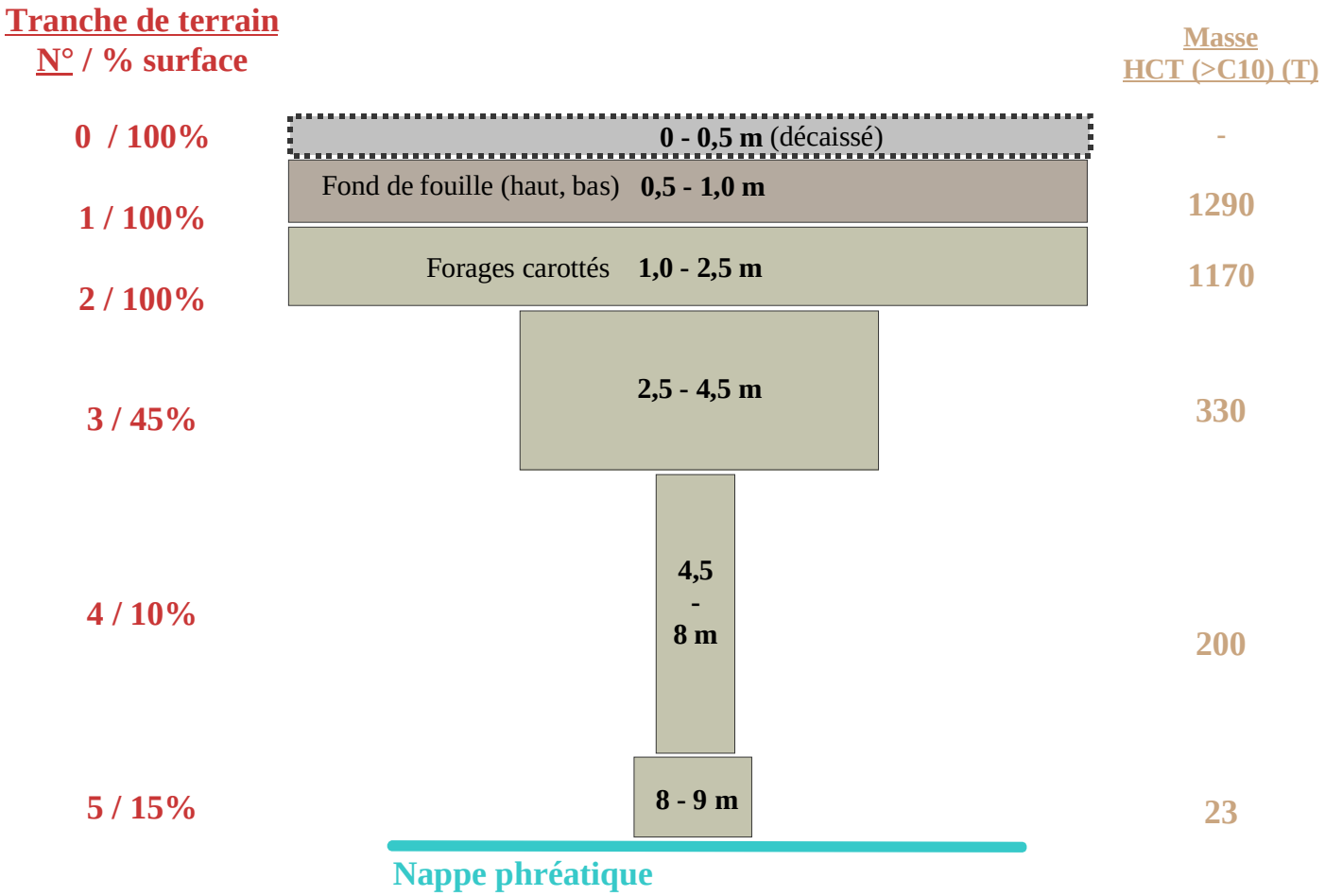
Une géologie particulière :
- ✓ **alternance de poudingue et cailloutis**

Transfert de la pollution vers la nappe

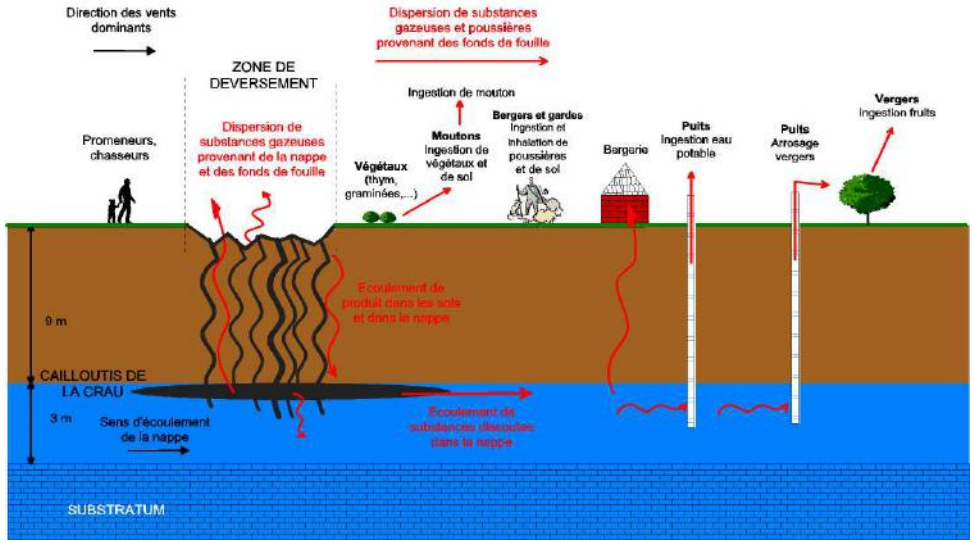


Aujourd'hui : la plus grosse partie de la pollution → saturation résiduelle dans la zone non saturée

Bilan de masse de polluant résiduel (2 mois après la fuite)

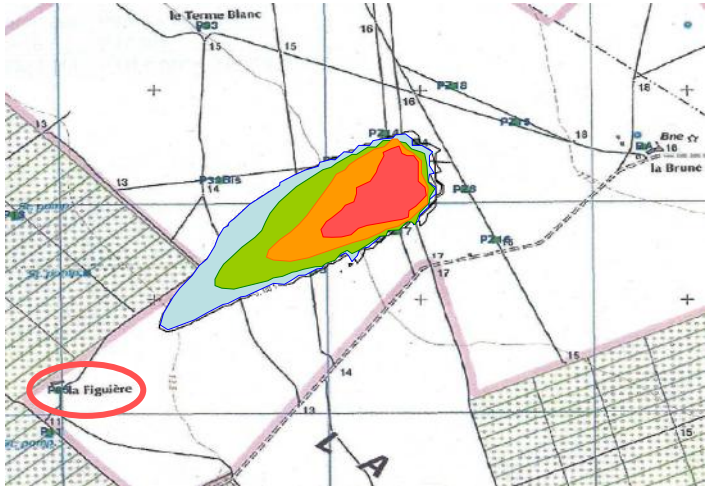


Risques associés



Première cible eau souterraines → puits de bergerie utilisé pour l'abreuvage à 1400 m en aval

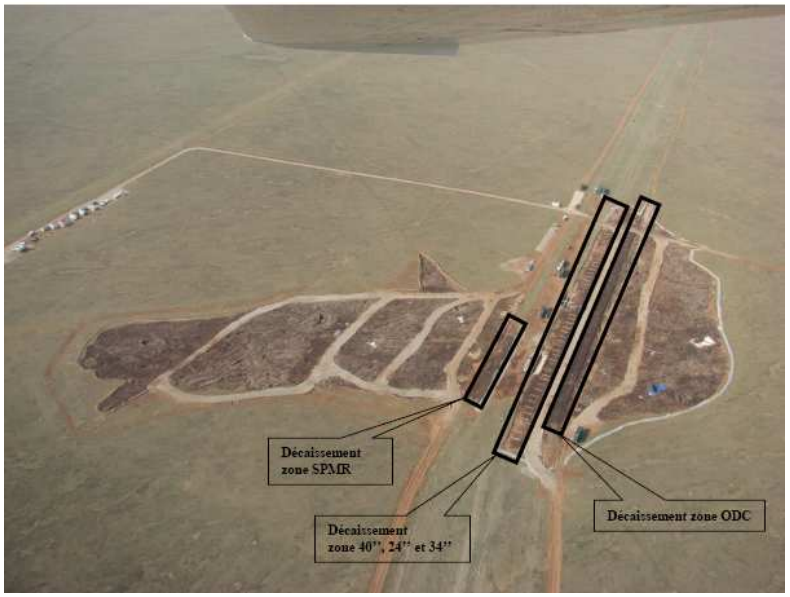
Une stabilisation du panache (1 µg/l de benzène) prévue entre 400 et 900 m (modélisation en régime permanent)



Travaux réalisés

3 phases d'excavation de terres

Phase 1 : décapage de surface
1 960 camions – 46 000 tonnes de terres excavées
Phase 2 : dégagement des pipelines
695 camions – 17 400 tonnes de terres excavées
Phase 3 : décapage sous les pistes
315 camions – 7 500 tonnes de terres excavées



et 1 phase de remblaiement

Reconstitution de sol par transfert de
70 000 t de sol (découverte de carrière)

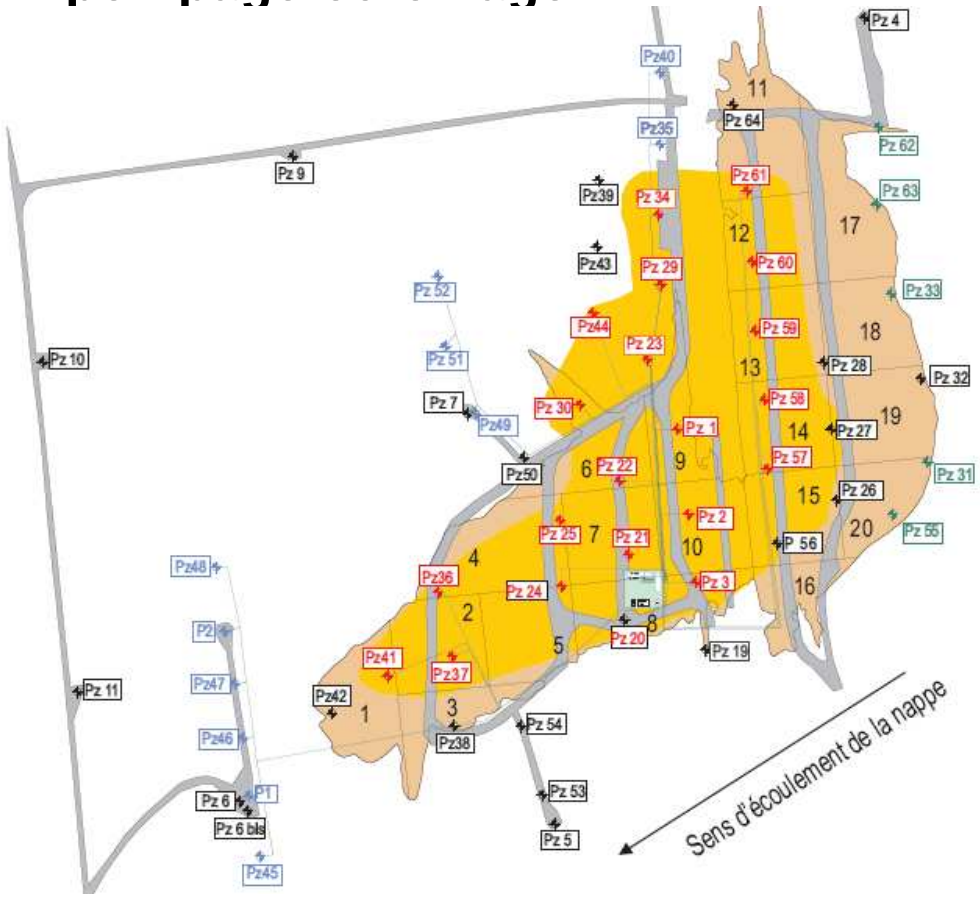
2 ans après la fuite :
reprise de végétation

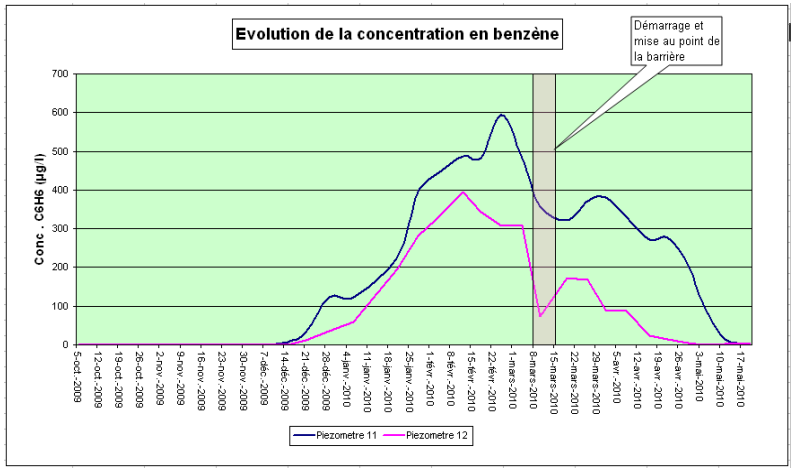
1,5 ans après la fuite :
fin du recouvrement

Le site a retrouvé une dynamique écologique favorable

Travaux réalisés

Confinement hydraulique et pompage-écrémage





Des méthodes robustes, éprouvées et efficaces mais interventionnistes

Etude de faisabilité d'une Atténuation Naturelle

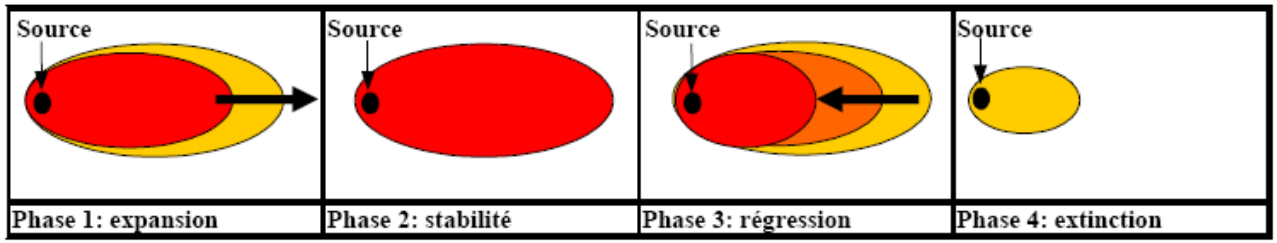
Définition

« L'Atténuation Naturelle » (AN) englobe l'ensemble des mécanismes physiques, chimiques ou biologiques qui, sous des conditions favorables, réduisent sans intervention humaine la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des polluants dans les sols ou les eaux souterraines. (BRGM, US EPA)

Les processus pris en considération sont : la dispersion, la dilution, la volatilisation, l'adsorption, les mécanismes de stabilisation ou de destruction de polluants, qu'ils soient physiques, chimiques ou biologiques.

- **mécanismes non destructifs : dispersion hydrodynamique, diffusion moléculaire, dissolution, précipitation, volatilisation et adsorption ;**
- **mécanismes destructifs : dégradation biologique, dégradation abiotique.**

Dans le cas de pollutions en hydrocarbures, la biodégradation intrinsèque est le mécanisme prépondérant



Cycle de vie d'un panache soumis à l'AN

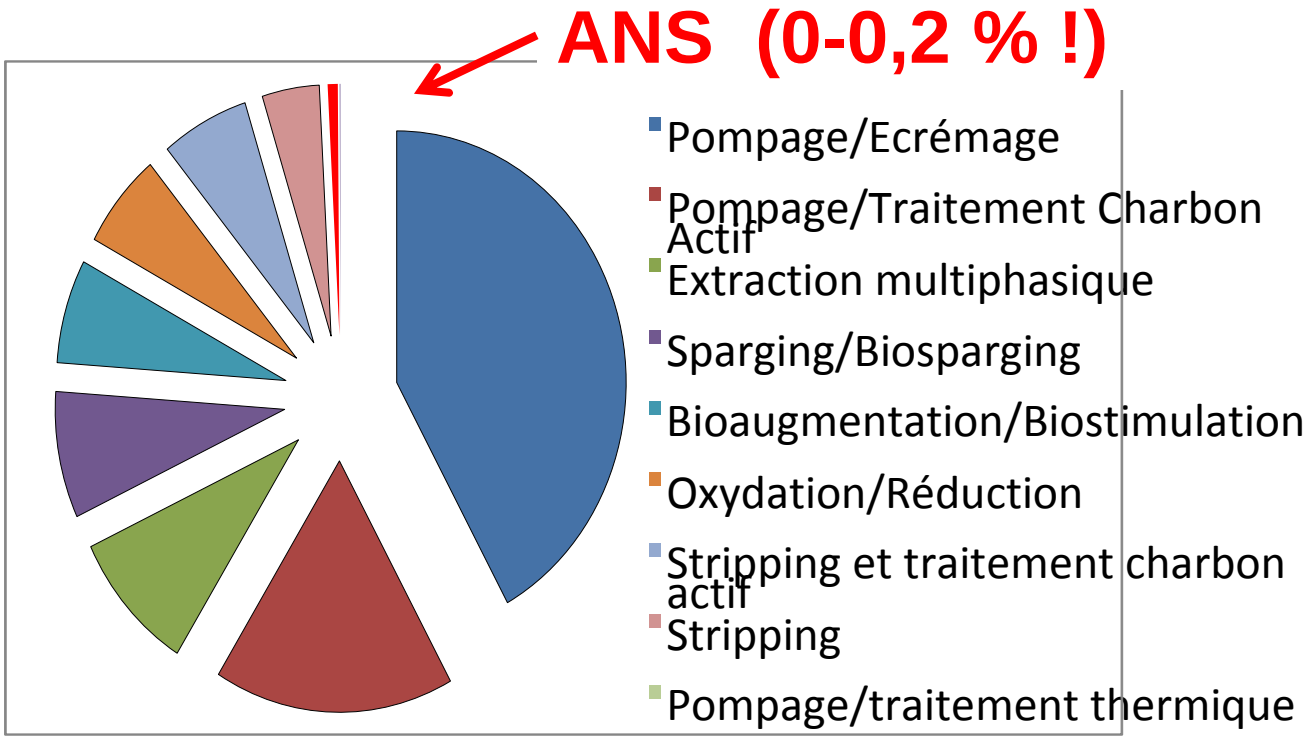
Etude de faisabilité d'une Atténuation Naturelle

Utilisation

L'atténuation naturelle contrôlée est peu acceptée en France.

Cette solution ne faisant intervenir aucun traitement par intervention humaine est souvent perçue comme inefficace et laisse suggérer une persistance de la pollution.

La mise en œuvre de l'atténuation naturelle contrôlée nécessite un travail important, notamment de modélisation, qui peut s'avérer coûteux.



Taux d'utilisation pour la dépollution des eaux souterraines

(ADEME 2008)

La nouvelle méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués (Circulaire du 08 février 2007) fait une place à l'atténuation naturelle dans le plan de gestion des sites, en tant que mesure de gestion

Le projet ATTENA financé par l'ADEME depuis 2007 a pour objectif d'établir un protocole de mise en œuvre de l'ANS à l'horizon 2012.

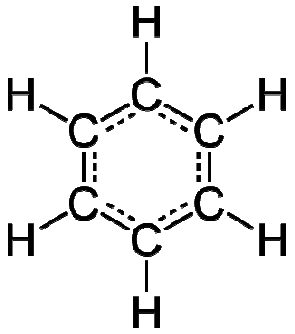
La Crau : un site particulièrement adapté pour l'AN du fait de la sensibilité de son milieu naturel

Protocole de démonstration retenu

3 faisceaux de preuves :

1. Existence des conditions favorables à l'AN (indicateurs hydro- et géochimiques)
2. Confirmation de la réduction de masse de contaminant sur le site
3. Preuves complémentaires d'un potentiel microbiologique évident

Au cœur de l'AN des hydrocarbures : la biodégradation



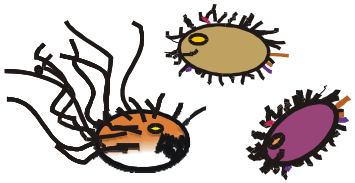
Hydrocarbures

+

Oxygène (O_2)
(ou NO_3^-, MnOOH, FeOOH, SO_4^{2-}**)**

+

Nutriments
(azote, phosphore)



Micro-organismes

CO_2

+

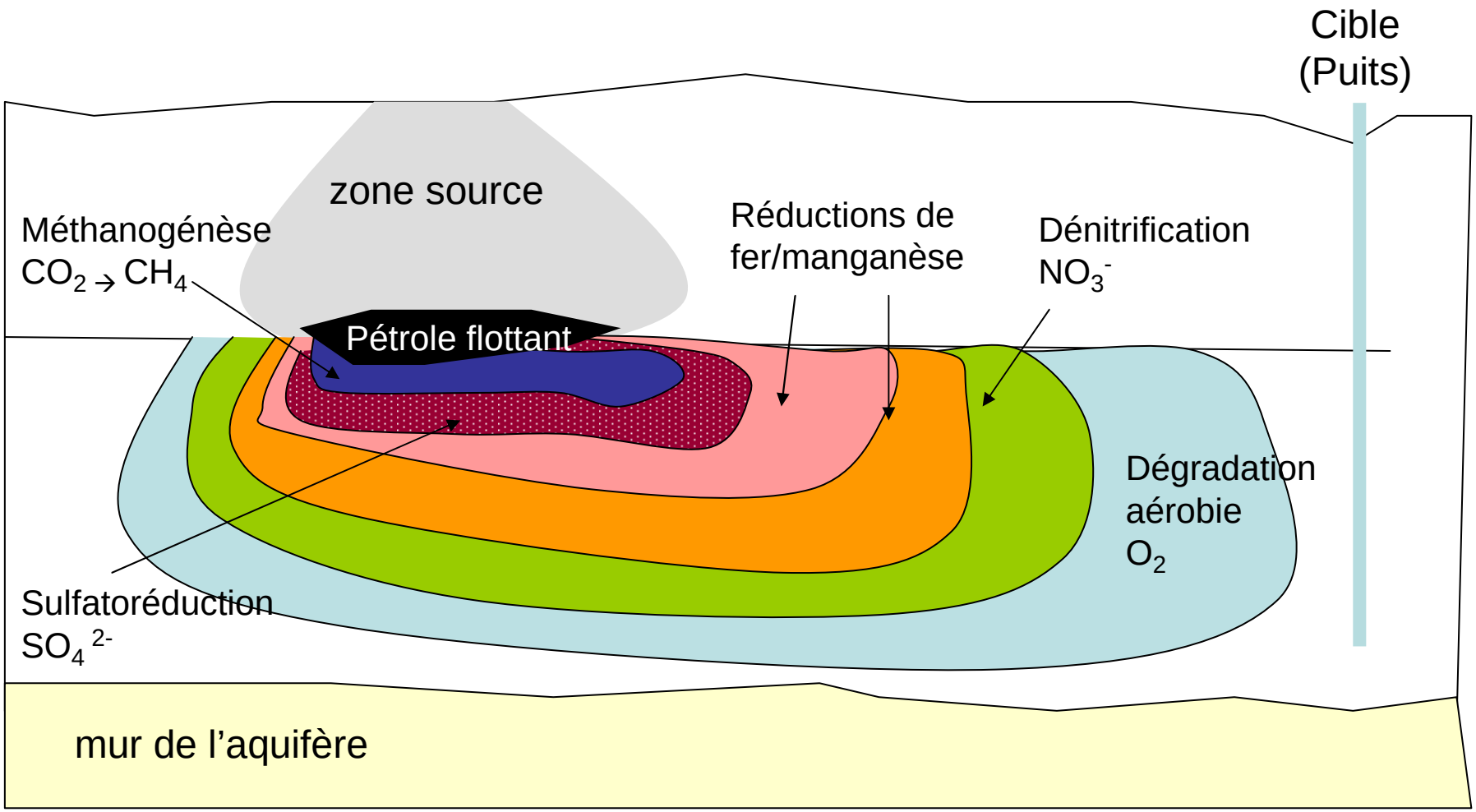
Eau (H_2O)
(ou Mn^{2+}, Fe^{2+}, H_2S, CH_4)

+

Chaleur

Schéma en coupe

Les processus de biodégradation intrinsèque engendrent une succession de zones d'oxydoréduction dans l'aquifère en aval de la source de pollution



Zonage des processus d'oxydoréduction dominants

Investigations physico-chimiques des eaux souterraines

Mesures des paramètres physico-chimiques in situ :

- **Oxygène dissous,**
- **Potentiel d'oxydo-réduction,**
- **pH,**
- **Conductivité,**
- **Température,**

Analyses chimiques en laboratoire de paramètres inorganiques et des polluants organiques

Objectifs :

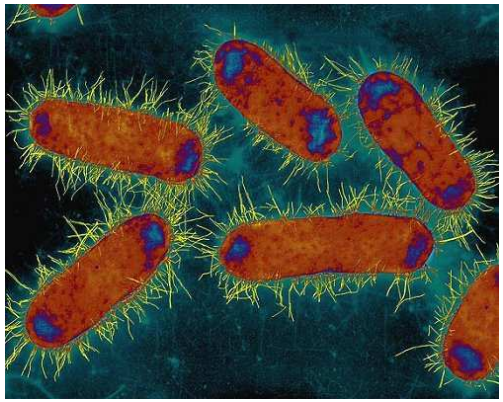
- **établir un aperçu général de l'état physico-chimique de la nappe,**
- **identifier un zonage des processus d'oxydoréduction dominants,**
- **sélectionner des puits/piézomètres pour les analyses détaillées.**

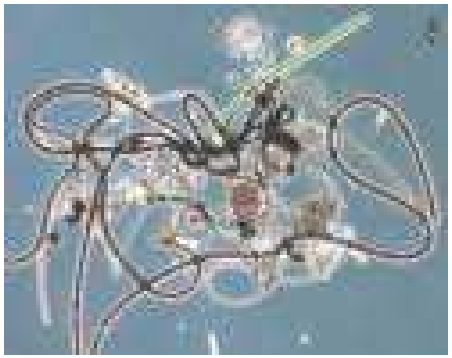
Cellule de mesure

Investigations microbiologiques

Objectifs :

- **Déterminer le niveau de prolifération microbienne globale de l'eau et analyser la répartition des microorganismes cultivables mis en évidence avec des dénombrements**
- **Dénombrer les flores aérobies, anaérobies incluant les levures et moisissures,**
- **Identifier la flore prédominante (bactérienne, levure et moisissure).**





Résultats :

- **Colonisation pertinente du milieu naturel pollué par des microorganismes**
- **Sulfatobactéries et flores aérobies (+ anaérobies facultatives) dominent et montrent une prolifération microbienne très importante.**
- **Dans une moindre mesure, colonisations en ferrobactéries et en flores fongiques (levures et moisissures)**
- **Les plus fortes colonisations trouvées correspondent à des conditions favorables pour la biodégradation avec une abondance simultanée de sources carbonées et d'accepteurs d'électrons.**

Essai pilote de biostimulation

Problématique :

Pompage-écrémage et barrière hydraulique :
Mesures de gestion interventionnistes dans l'attente d'une solution de maîtrise des impacts à long terme

Un fort potentiel d'atténuation naturelle :
Deux campagnes de mesure sur site → zonage d'oxydoréduction et carence en accepteurs d'électrons

Atténuation Naturelle Surveillée :
L'acceptabilité de l'AN étant liée à la durée d'épuisement de la source, la piste d'une accélération du processus doit être testée

L'Atténuation Naturelle Dynamisée peut-elle être une mesure de gestion envisageable à long terme pour ce site ?

Enseignements

Conclusions de l'essai-pilote

✓ Démonstration :
- d'une dégradation complète des polluants dissous,
- d'une confirmation des comportements/réactions attendus,
- de l'applicabilité de la technique choisie, la pertinence des concentrations injectées,
- de la pertinence du suivi analytique et des paramètres étudiés.

→ **Faisabilité technique démontrée et stimulation maîtrisée**

✓ Quantification de la biostimulation

✓ Possibilité de modélisation du système

ICF Environnement
LES SOLS, LES RISQUES, LA SANTÉ

Applicabilité à grande échelle

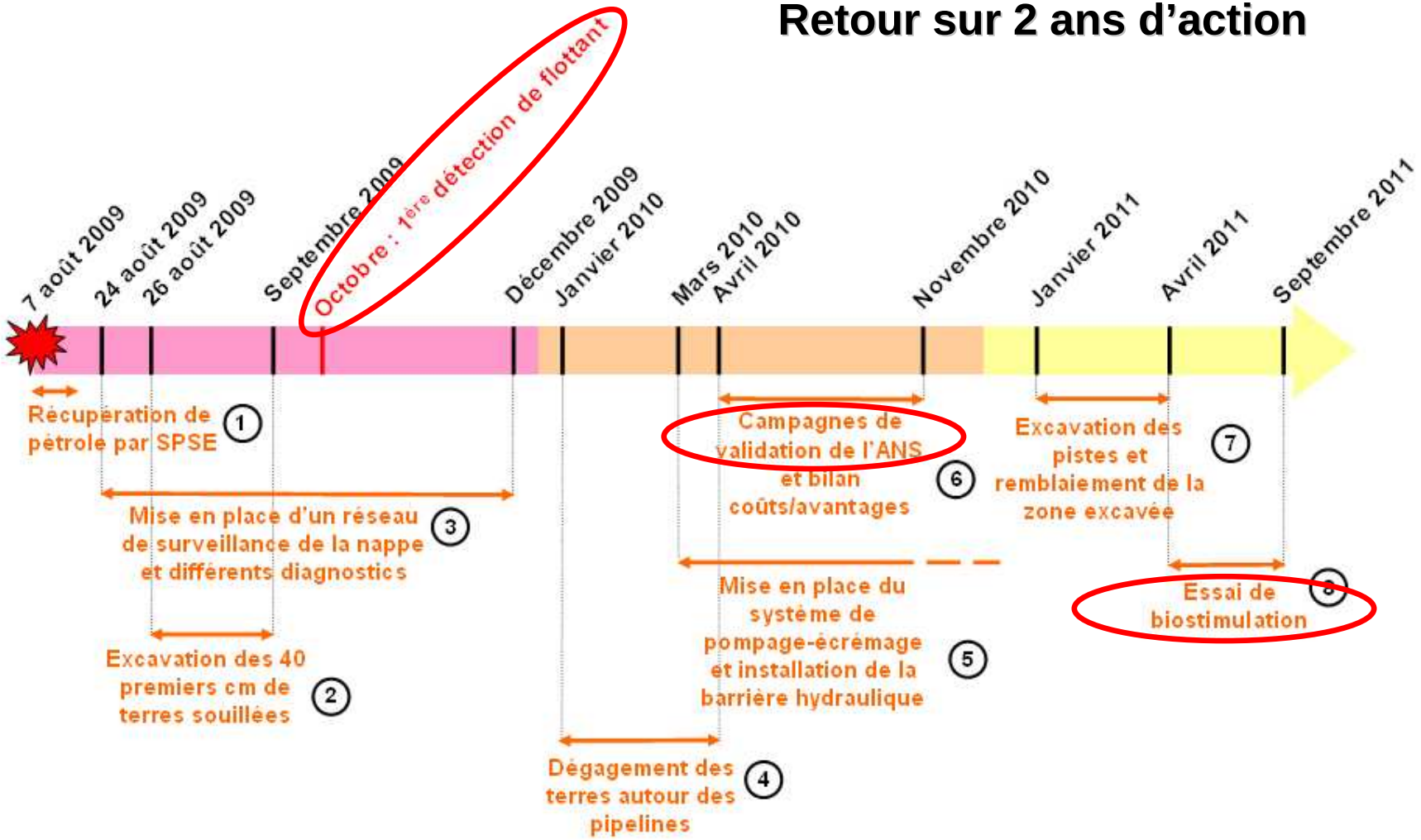
- ✓ Paramètres de dimensionnement :
  - Rayon d'action de la biostimulation par puits d'injection,
  - Nombre de points d'injection et débit d'injection,
  - Concentration en traceur réactif : limite maximum (bactéricide) et limite minimum (efficacité),
  - Dispositif de conditionnement des traceurs et dosage,
  - Fréquence de suivi et paramètres analytiques.

- ✓ Hypothèse : utilisation du réseau de puits existant et de l'eau de la nappe pompée

- ✓ Coûts de la biostimulation :
  - Comparaison avec les coûts d'exploitation du système de pompage/écrémage
  - Indicateur : coût par kg/tonne d'hydrocarbures dégradés

Une alternative durable aux méthodes interventionnistes existe
Mise en place à grande échelle en discussion (CSTE)
Critères de décision = temps de traitement et perturbations du milieu naturel

Retour sur 2 ans d'action



Un processus de validation de longue durée à mener en parallèle des autres modalités de gestion

ICF Environnement
LES SOLS, LES RISQUES, LA SANTÉ

Merci de votre attention

Yves GUELORGET
Responsable Agence Sud-Est
Domaine du Petit Arbois
13 545 AIX EN PROVENCE
04 42 90 81 20 / 04 42 90 81 21