



# Elaboration et mise en oeuvre d'un plan de gestion sur un site industriel en activité

## ***Journée Technique « Du plan de gestion à l'achèvement des travaux de dépollution »***

***Organisée par le Brgm en concertation  
avec le MEDDE***



CERTIFICATION DE SERVICE DES PRESTATAIRES  
DANS LE DOMAINE DES SITES ET SOLS POLLUÉS



SITES ET SOLS POLLUÉS  
NF X 31-429-2  
ÉTUDES, ASSISTANCE  
ET CONTRÔLE  
www.lne.fr

SITES ET SOLS POLLUÉS  
NF X 31-429-3  
INGÉNIERIE DES TRAVAUX  
DE RÉHABILITATION

SITES ET SOLS POLLUÉS  
NF X 31-429-4  
EXÉCUTION DES TRAVAUX  
DE RÉHABILITATION



Géosciences pour une Terre durable



# Contexte

## > Le site

- ICPE, industrie du caoutchouc



# Contexte

## > Le site

- ICPE, industrie du caoutchouc
  - 500 employés
  - Usine 10 ha dont 8 ha bâtis
- Activités :
  - Production de caoutchouc
  - Pièces antivibratoires pour l'automobile
  - Ferroviaire et autres pièces pour l'industrie



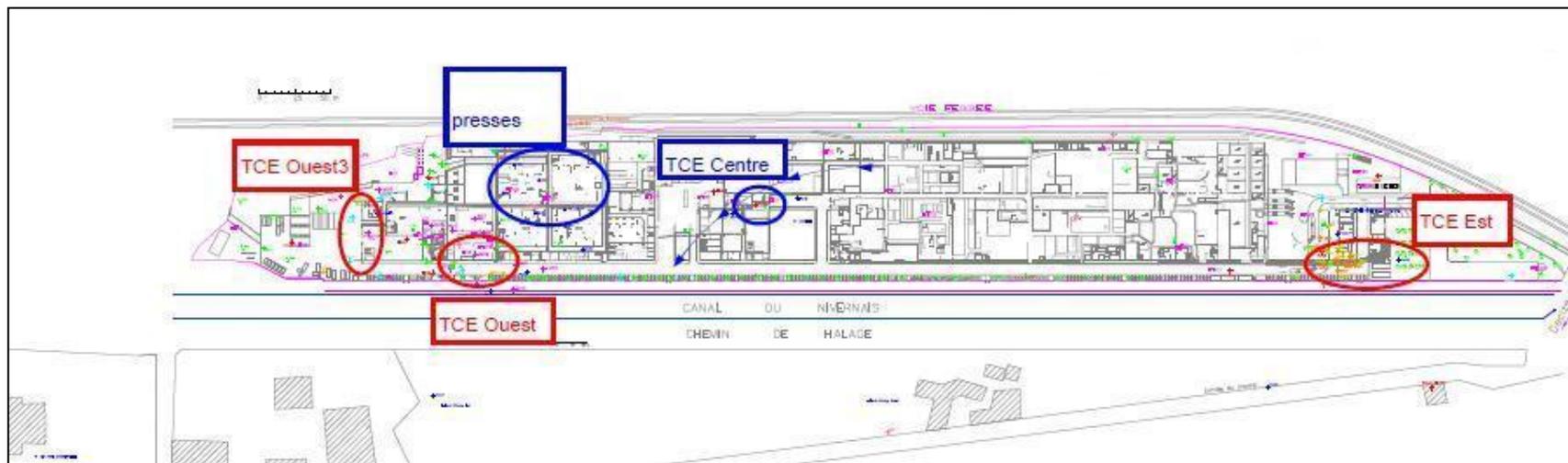


# Contexte

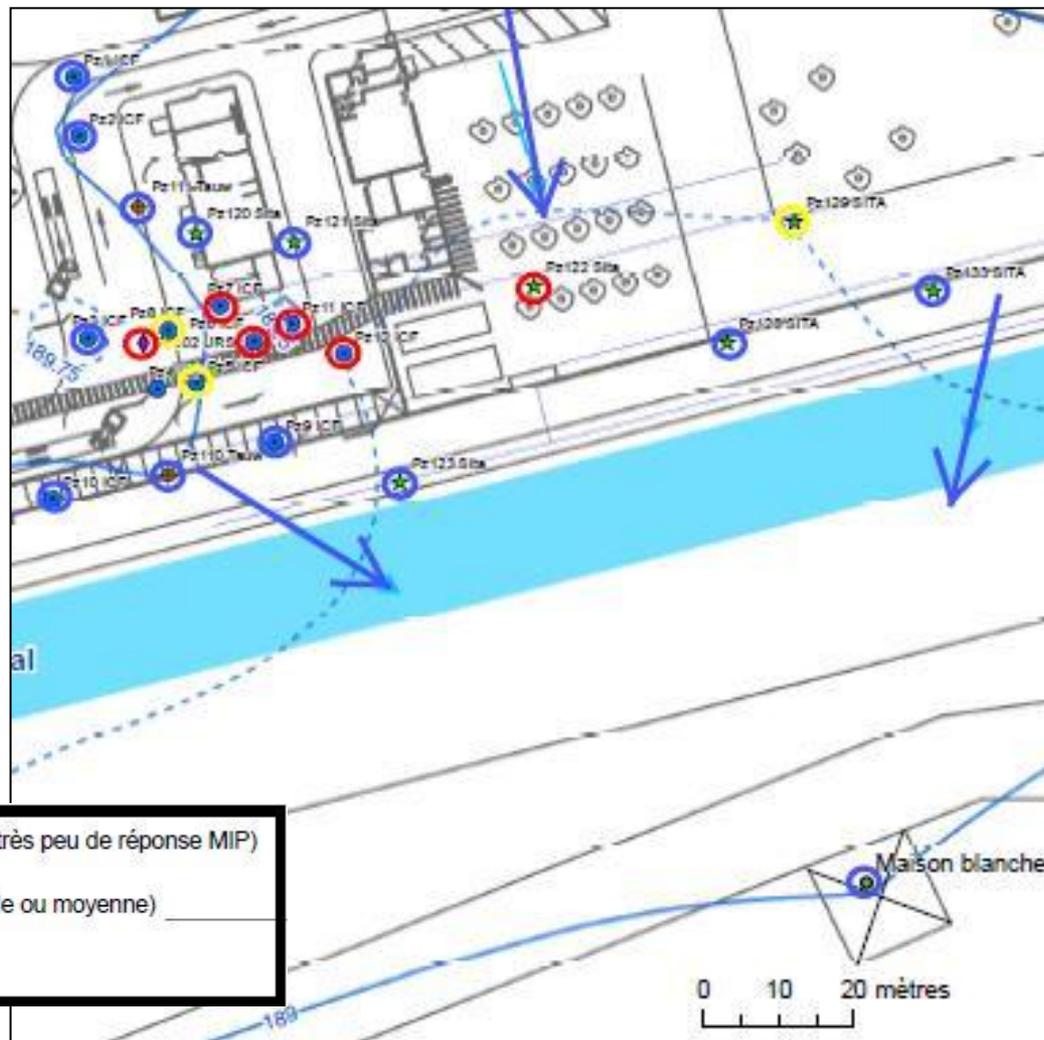
## > La pollution

- études de pollution à partir de 1995, plusieurs phases avec BE différents
- Diagnostic complémentaire pour préciser données
- Investissement de l'industriel dans les études
  - Au total 57 piézos, 93 sondages, 40 MIP, 9 essais de nappe, 5 pilotes labo de faisabilité
  - Pour cerner et vérifier faisabilité des techniques de dépollution
  - Doit permettre un dimensionnement complet
- Schéma conceptuel : 5 zones identifiées (COHV, HC), avec pollution caractérisée

# Zones prises en compte dans le PG



# Etat des lieux zone TCE Est

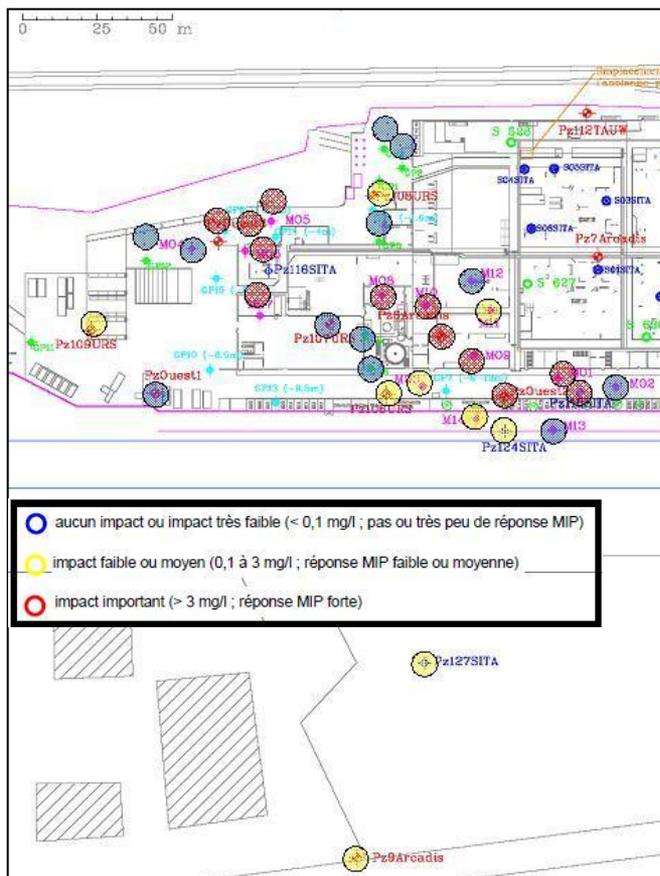


Ecoulement reconstitué par modélisation

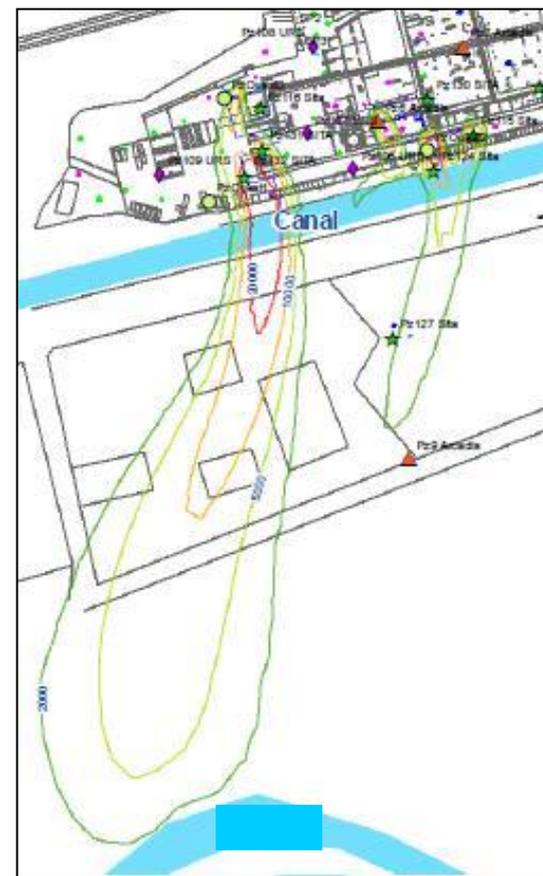
- aucun impact ou impact très faible ( $< 0,1$  mg/l ; pas ou très peu de réponse MIP)
- impact faible ou moyen (0,1 à 3 mg/l ; réponse MIP faible ou moyenne)
- impact important ( $> 3$  mg/l ; réponse MIP forte)

# Etat des lieux partie ouest

Observé



Reconstitué par modélisation



# Enjeux

## > **Priorité : protection des riverains en aval**

- Puits à usages sensibles : boisson, arrosage, bétail

## > **De façon pérenne : dépollution globale**

- Demande de dépollution par la DREAL
- Politique environnementale groupe : gestion du passif environnemental

## > **Questionnements du maître d'ouvrage**

- Besoin de vision d'ensemble du problème
- Inquiétude sur coûts potentiellement très élevés
- Utilisation nappe en aval par puits privés
- Forte attente de l'administration (objectif « eau potable » évoqué)

# La demande d'ANVIS

## > Cahier des charges

- Proposer un plan de gestion
- Mettre en œuvre des travaux et autres mesures décidées
- Conseiller et accompagner ANVIS pour relations avec autres parties, communication

# La demande d'ANVIS

## > Points particuliers

- Contraintes d'un site en activité

# La demande d'ANVIS

## > Points particuliers

- Contraintes d'un site en activité



**SITA REMEDIATION**  
la terre au sens propre

L. POUILLOT - SITA REMEDIATION, J-P. MAILLOT – ANVIS France  
S. COLOMBANO - BRGM

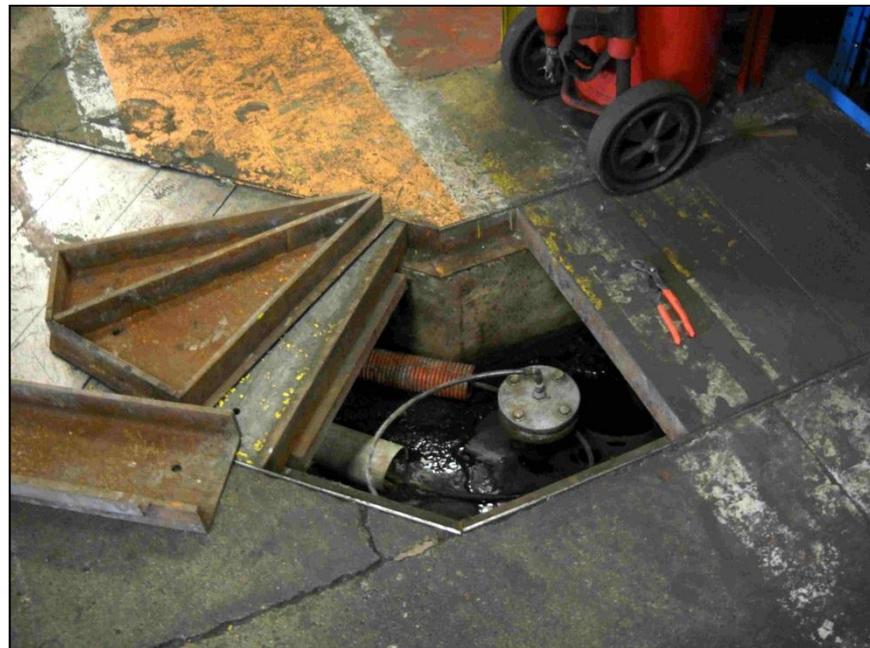
ciences pour une Terre durable

**brgm**

# La demande d'ANVIS

## > Points particuliers

- Contraintes d'un site en activité



**SITA REMEDIATION**  
la terre au sens propre

L. POUILLOT - SITA REMEDIATION, J-P. MAILLOT – ANVIS France  
S. COLOMBANO - BRGM

Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**

# La demande d'ANVIS

## > Cahier des charges

- Proposer un plan de gestion
- Mettre en œuvre des travaux et autres mesures décidées
- Conseiller et accompagner ANVIS pour relations avec autres parties, communication

## > Points particuliers

- Contraintes d'un site en activité
- Précision demandée : PG = base pour contrat travaux
- Engagement financier du prestataire sur atteinte des objectifs
- Forte implication du MO, expérimenté en SSP, travail commun avec le prestataire

## Autres parties prenantes : attentes spécifiques

### > DREAL

- Exigence d'avancement et d'efficacité

### > BRGM (Expertise pour les services de l'état)

- Validation technique

### > Agence de l'eau (demande de subvention)

- Cadre du SDAGE : amélioration qualité des milieux
- informations financières et techniques pour subventions

### > Mairie

- Communication active : réunion, visite de chantier, réponse aux questions, article dans bulletin municipal

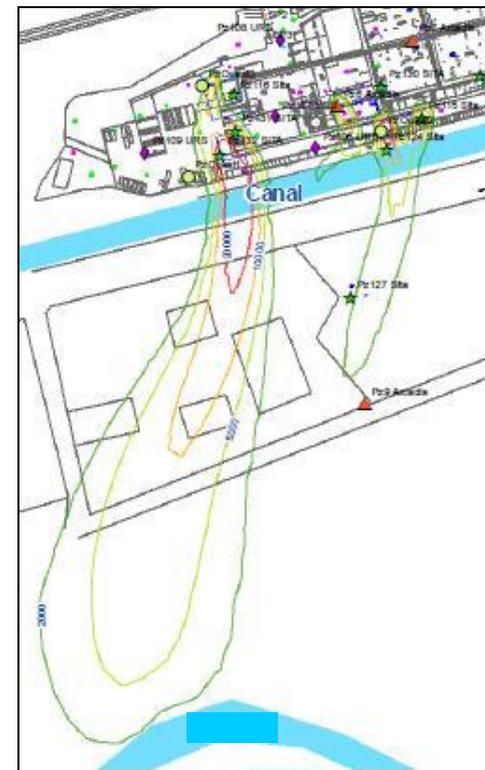
### > Riverains

- Communication active : réunion, visite de chantier
- Sensibilisation sur l'usage de l'eau de nappe (raccordement AEP)
- Contacts pour servitudes

## Les mesures prioritaires

### > Couper le panache à l'ouest

- Données des diagnostics
  - Extension, concentrations
  - Essais de perméabilité
  - Test labo des risques de précipitation
  - Modélisation du transport de polluant
- Solution adoptée : barrière de pompage
  - traitement eau sur stripper + CA air + finition CA eau
  - Meilleure technique à coût économiquement acceptable
  - Mesure transitoire en attendant la dépollution

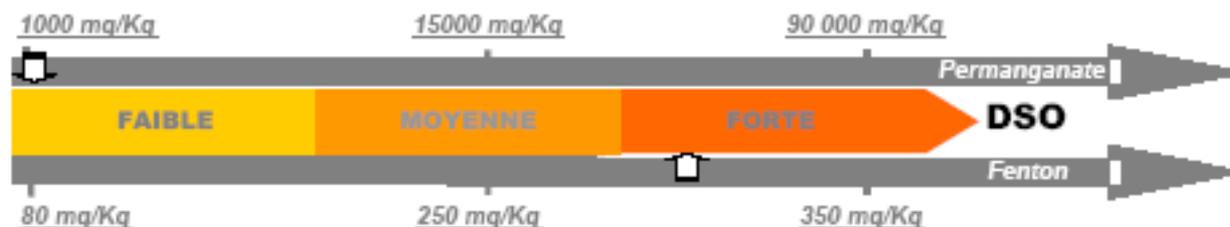


# Dépollution pérenne : bilan coûts / avantages

## > Comparaison selon critères pertinents

- Techniques
  - Faisabilité (pilotes labo), délai, bilan matière estimatif, robustesse, effets indésirables, contraintes terrain

Pilote  
« oxydation »



# Dépollution pérenne : bilan coûts / avantages

## > Comparaison selon critères pertinents

- Techniques
  - Faisabilité (pilotes labo), délai, bilan matière estimatif, robustesse, effets indésirables, contraintes terrain

Pilote  
« bionappe  
anaérobie »

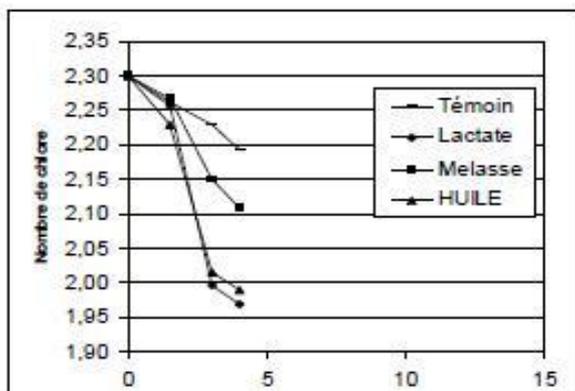


Figure 2 : Evolution du nombre de chlore au cours du temps

|              | Etat initial  | Etat final    |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Moyenne       | Témoin        | Lactate       | Mélasse       | Huile         |
| TCE          | 8 400         | 6 100         | 1 300         | 4 800         | 830           |
| cisDCE       | 15 400        | 18 000        | 31 000        | 20 000        | 26 000        |
| VC           | 370           | 86            | 620           | 560           | 580           |
| Ethylène     | non détecté   | non détecté   | détecté       | détecté       | détecté       |
| <b>TOTAL</b> | <b>24 170</b> | <b>24 186</b> | <b>32 920</b> | <b>25 360</b> | <b>27 410</b> |

Tableau 1 : Concentration initiale et finale en COHV pour les différents tests (µg/L)



**SITA REMEDIATION**  
la terre au sens propre

L. POUILLOT - SITA REMEDIATION, J-P. MAILLOT – ANVIS France  
S. COLOMBANO - BRGM

éosciences pour une Terre durable



# Dépollution pérenne : bilan coûts / avantages

## > Comparaison selon critères pertinents

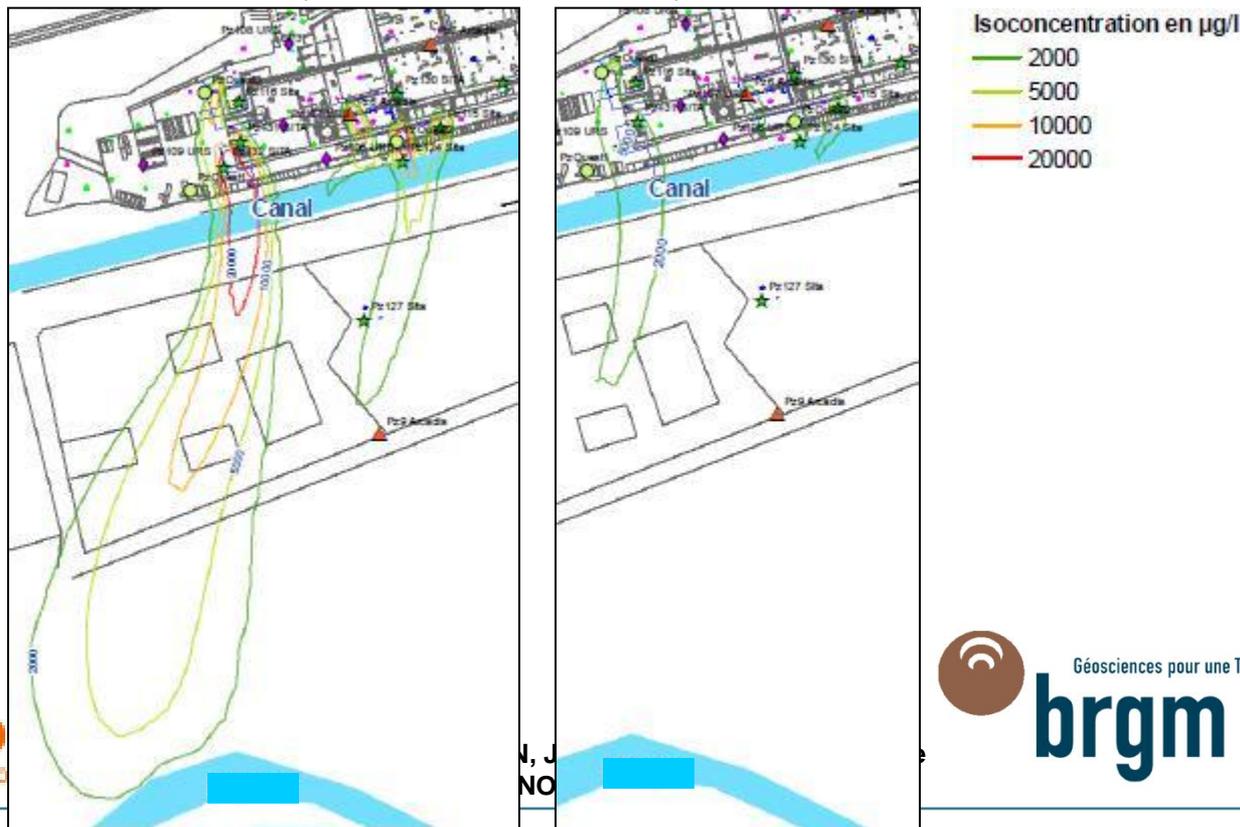
- Techniques
  - Faisabilité (pilotes labo), délai, bilan matière estimatif, robustesse, effets indésirables, contraintes terrain

|   | TCE Est                                     | TCE Ouest2                                  | TCE Ouest3  | TCE Centre                                  |
|---|---|---|---|---|
| Surface   | 1200 m <sup>2</sup>                         | 2400 m <sup>2</sup>                         | 2800 m <sup>2</sup>   | 50 m <sup>2</sup>                           |
| Type de matrice nappe considérée (paramètre utilisé pour l'estimation de la fraction organique, Kd) | Sable fin à moyen de dépôt fluvio-deltaïque | Sable fin à moyen de dépôt fluvio-deltaïque | Partie Nord : argiles marneuses<br>Partie Sud : Sable fin à moyen de dépôt fluvio-deltaïque | Sable fin à moyen de dépôt fluvio-deltaïque |
| Porosité  | 10%   | 10%   | 5%  | 10%   |
| Concentration moyenne en phase dissoute (somme des COHV) (mg/l)                                     | 20  | 63  | 36  | 1   |
| Estimation de masse totale de contaminant avant traitement  | de l'ordre de 1 tonne                       | de l'ordre de 2 à 3 tonnes                  | de l'ordre de 2 à 3 tonnes  | de l'ordre de 1 kg                          |
| Abattement moyen prévu  | 0,88  | 0,92  | à préciser à l'issue de la première année de traitement                                     | 0,8   |
| Estimation de masse totale de contaminant après traitement  | moins de 150 kg                             | de l'ordre de 150 à 250 kg                  |   | de l'ordre de 200 g                         |
| Masse de polluant détruite pendant le traitement  | de l'ordre de 0,5 à 1 tonne                 | de l'ordre de 2 à 3 tonnes                  |   | de l'ordre de 800 g                         |

# Dépollution pérenne : bilan coûts / avantages

## > Comparaison selon critères pertinents

- Techniques
  - Faisabilité (pilotes labo), délai, bilan matière estimatif, robustesse, effets indésirables, contraintes terrain



# Dépollution pérenne : bilan coûts / avantages

## > Comparaison selon critères pertinents

- Techniques
  - Faisabilité (pilotes labo), délai, bilan matière estimatif, robustesse, effets indésirables, contraintes terrain
- Économiques
  - Coûts directs, indirects prévisibles ou potentiels, possibilité d'étalement, risque de dérive, ...
- Environnementaux
  - Bilan matière
  - Déchets, dépense énergétique, influence sur la nappe (chasse de la pollution, résidus indirects)
- Sociopolitiques
  - Acceptabilité des techniques (ex : bionappe anaérobie peu connue), responsabilité ultérieure, perception par les riverains

## > Critères en fonction du contexte



L. POUILLOT - SITA REMEDIATION, J-P. MAILLOT – ANVIS France  
S. COLOMBANO - BRGM



# Bilan coûts / avantages : ex. zone TCE Ouest2

| Mesure de gestion proposée<br>= action à mener | Zone TCE Ouest2 : Maîtrise des sources : nappe impactée par des COHV   |  |   |   |
|--|--|--|---|---|
|  | Traitement actif de la nappe et confinement temporaire   |  |   |   |
|  | OU   | OU   | OU  |   |
|  | Traitement biologique anaérobie  | Oxydation in-situ  | Pompage et traitement sur site  | Sparging  |
| Avantages                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>faisabilité labo démontrée</b></li> <li>- traitement des polluants directement dans la nappe sans avoir à les extraire</li> <li>- ne génère aucun déchet indirect</li> <li>- peu de dépense énergétique</li> <li>- <b>coût relativement faible</b></li> <li>- possibilité d'<b>étalement des coûts</b> de dépollution</li> <li>- <b>abattement attendu &gt; 80 %</b> hors produit pur</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>faisabilité labo démontrée</b></li> <li>- traitement des polluants directement dans la nappe sans avoir à les extraire</li> <li>- ne génère aucun déchet indirect</li> <li>- peu de dépense énergétique</li> <li>- <b>rapidité</b></li> <li>- <b>abattement attendu &gt; 80 %</b></li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Confine de fait</b> la pollution sur site</li> <li>- Technique avec beaucoup de retour d'expériences</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Important retour d'expérience,</b></li> <li>- Mise en œuvre plus facile que le pompage</li> <li>- <b>abattement attendu &gt; 80 %</b></li> </ul>  |
| Inconvénients                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Masse de polluants difficilement estimables : durée difficilement contrôlable</li> <li>- Délais de traitement globalement plus long qu'un traitement par oxydation</li> <li>- <b>Risque de présence de phase pure</b></li> <li>- Surveillance étroite des sous-produits de dégradation</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Coût élevé</b></li> <li>- Masse de polluants difficilement estimables : durée difficilement contrôlable, <b>risque de dérive financière important</b></li> <li>- Risque de chasse de la pollution si flux mal maîtrisés</li> <li>- Couplage indispensable à une barrière hydraulique et par conséquent augmentation des coûts</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Doit être maintenu jusqu'à épuisement de la source (<b>plusieurs dizaines d'années, ce qui induit un coût élevé</b>)</li> <li>- Déchets de traitement (charbon actif)</li> <li>- Forte dépense énergétique</li> <li>- Essai labo de colmatage : résultats défavorables pour un pompage traitement</li> <li>- <b>Très long pour obtenir un abattement significatif</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Récupération des polluants volatilisés de la nappe : <b>accumulation possible de gaz</b> sous niveaux peu perméables superficiels</li> <li>- <b>difficulté technique</b> liée à l'hétérogénéité du sous-sol</li> </ul> |
| Points complémentaires à examiner              | /  | /  | /   | /   |
| Coûts - budget estimatif                       | - 400 à 500K€HT pour traitement anaérobie<br>- durée 5 ans   | - 600 à 700 K€ pour l'oxydation<br>- durée 3 ans   | - installation : 100 K€<br>- fonctionnement 1000 K€ sur 10 ans  | - installation : 100 K€<br>- fonctionnement 400 K€ sur 5 ans  |

## Bilan coûts / avantages : définition des objectifs

### > Les seuils de dépollution

- techniquement atteignables
- bilan matière optimisé en chaque zone → coût acceptable

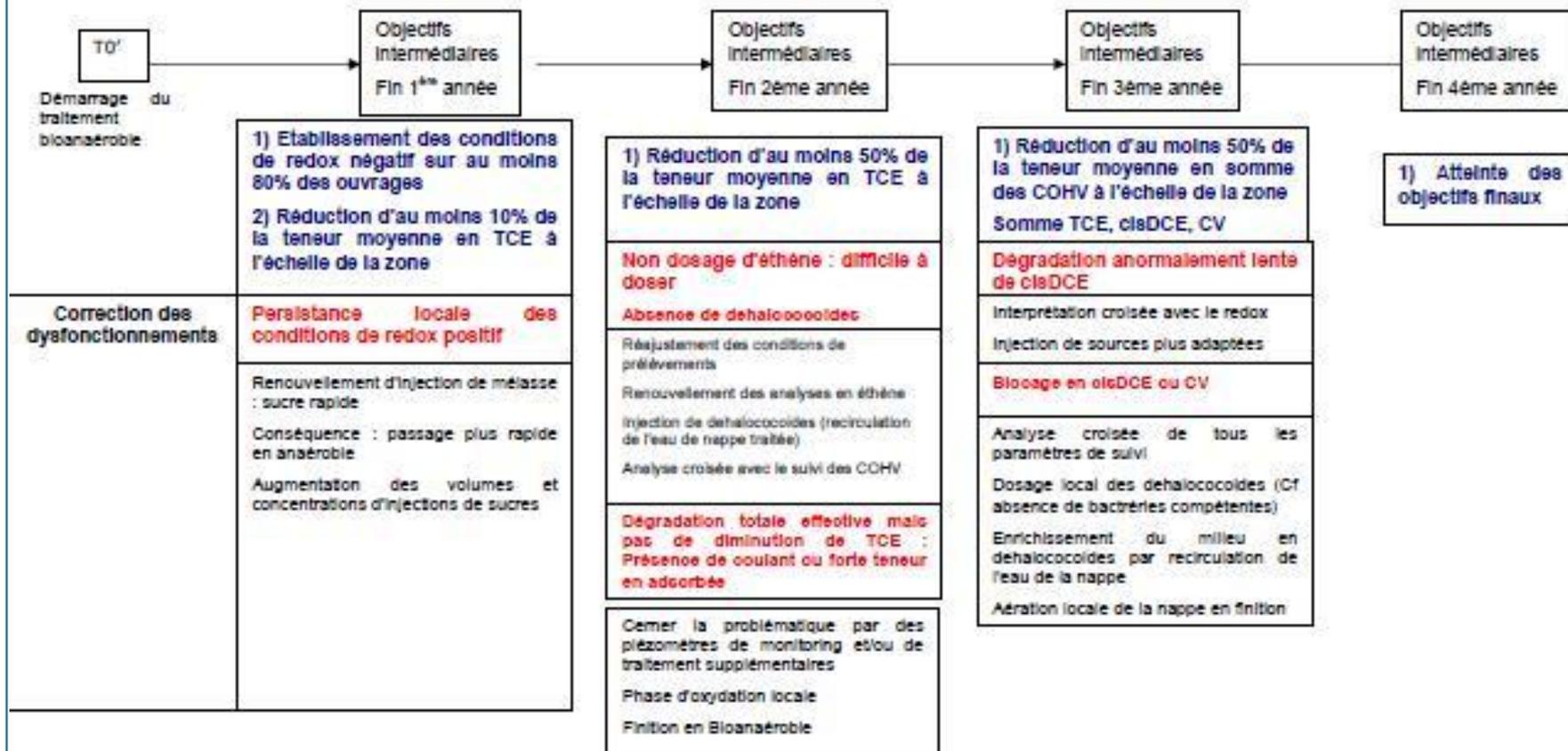
### > Validation des seuils par ARR

### > Objectifs intermédiaires

- quantitatifs ou qualitatifs
- Identification des dysfonctionnements possibles et des corrections envisageables

## Du Plan de Gestion à l'Achèvement des Travaux de Dépollution

# Objectifs intermédiaires et corrections de dysfonctionnements éventuels



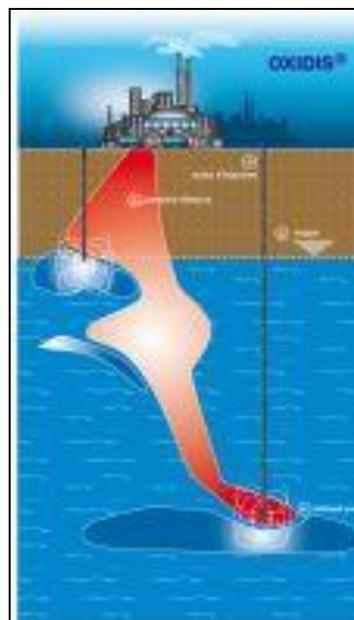
# Le plan de gestion retenu

## > Zones prioritaires

- TCE Ouest2 (TCE dans nappe)
  - oxydis<sup>®</sup> puis bionappe<sup>®</sup> anaérobie (+ confinement hydraulique pendant durée traitement)

**Oxydation** : action chimique

Injection de réactifs → oxydation des polluants

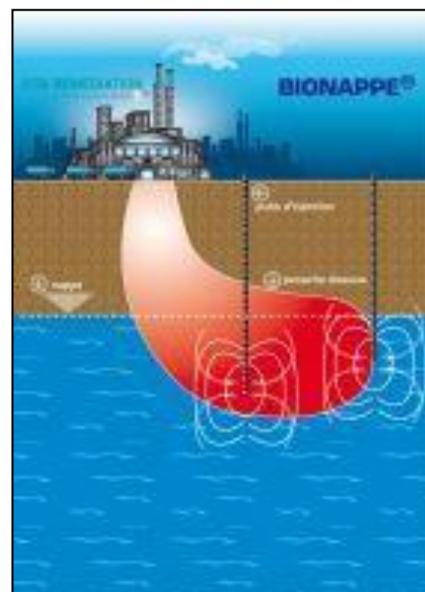


# Le plan de gestion retenu

## > Zones prioritaires

- TCE Ouest2 (TCE dans nappe)
  - oxydis<sup>®</sup> puis bionappe<sup>®</sup> anaérobie (+ confinement hydraulique pendant durée traitement)

**Bionappe anaérobie** : action biologique  
Injection de réactifs → milieu anaérobie  
PCE → TCE → Cis 1,2 DCE → CV → Ethènes



## Le plan de gestion retenu

### > Zones prioritaires

- TCE Ouest2 (TCE dans nappe)
  - oxydis<sup>®</sup> puis bionappe<sup>®</sup> anaérobie (+ confinement hydraulique pendant durée traitement)
- TCE Est (TCE dans nappe)
  - bionappe<sup>®</sup> anaérobie (+ option confinement biologique pendant durée traitement) + ventilation d'un bâtiment
- TCE Ouest3 (TCE dans nappe)
  - réserve sur possibilités techniques : essai oxydis<sup>®</sup> pendant 1 an (+ confinement hydraulique)

### > Mesures générales

- Surveillance (nappe, air intérieur, eau du robinet)
- Servitudes (principalement usages de la nappe hors site)

## Le plan de gestion retenu

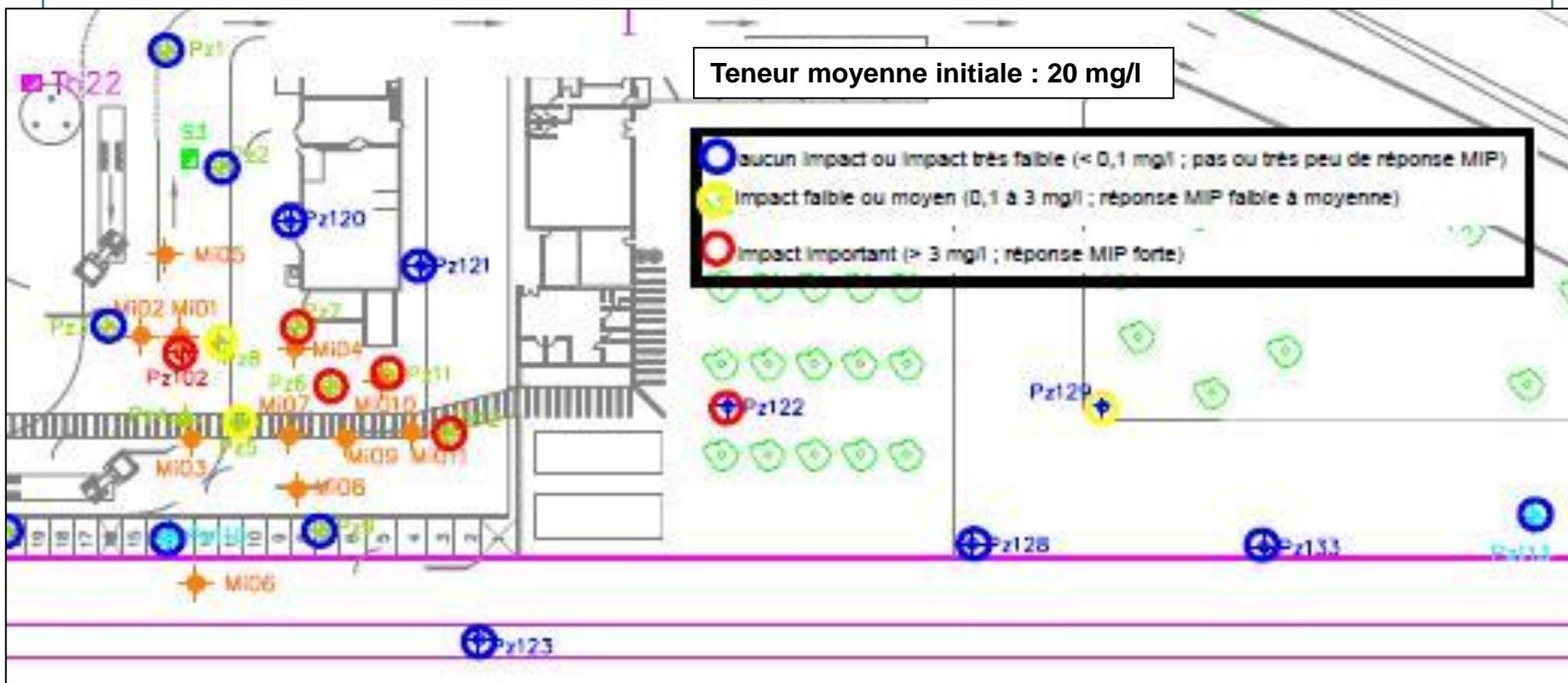
### > Zones de moindre importance surveillées

- Non prioritaires car :
  - Pas/peu d'impact nappe
  - Peu concentrées
- Presses (HC dans les sols, pas d'impact nappe, inaccessible actuellement)
  - À excaver quand l'atelier sera libéré
- TCE Centre (TCE dans nappe, teneurs modérées, peu étendue, pas d'impact hors site)
  - A traiter par oxydation

# La mise en œuvre du PG : exemple zone TCE Est

## > Le traitement dimensionné

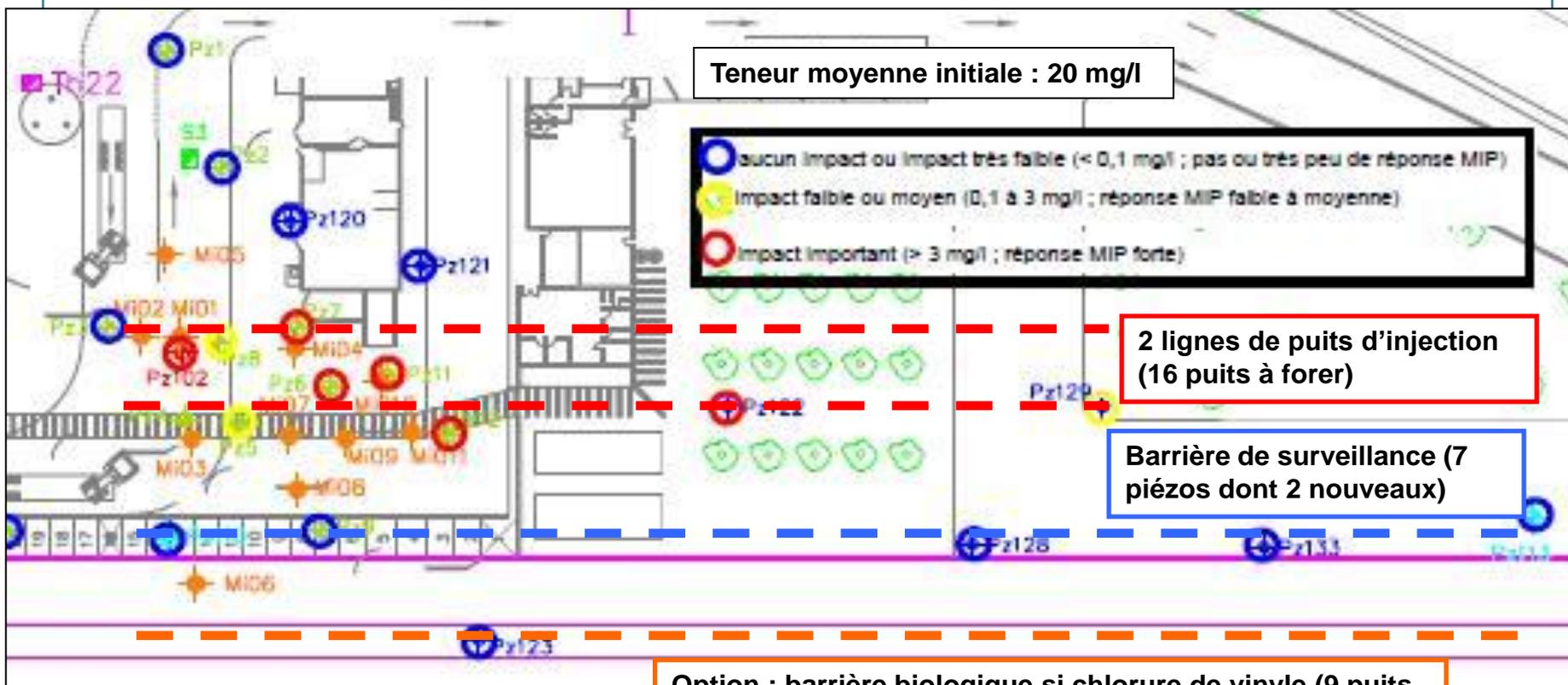
- Objectif : abattement 80 % des COHV (initialement 20 mg/l)



# La mise en œuvre du PG : exemple zone TCE Est

## > Le traitement dimensionné

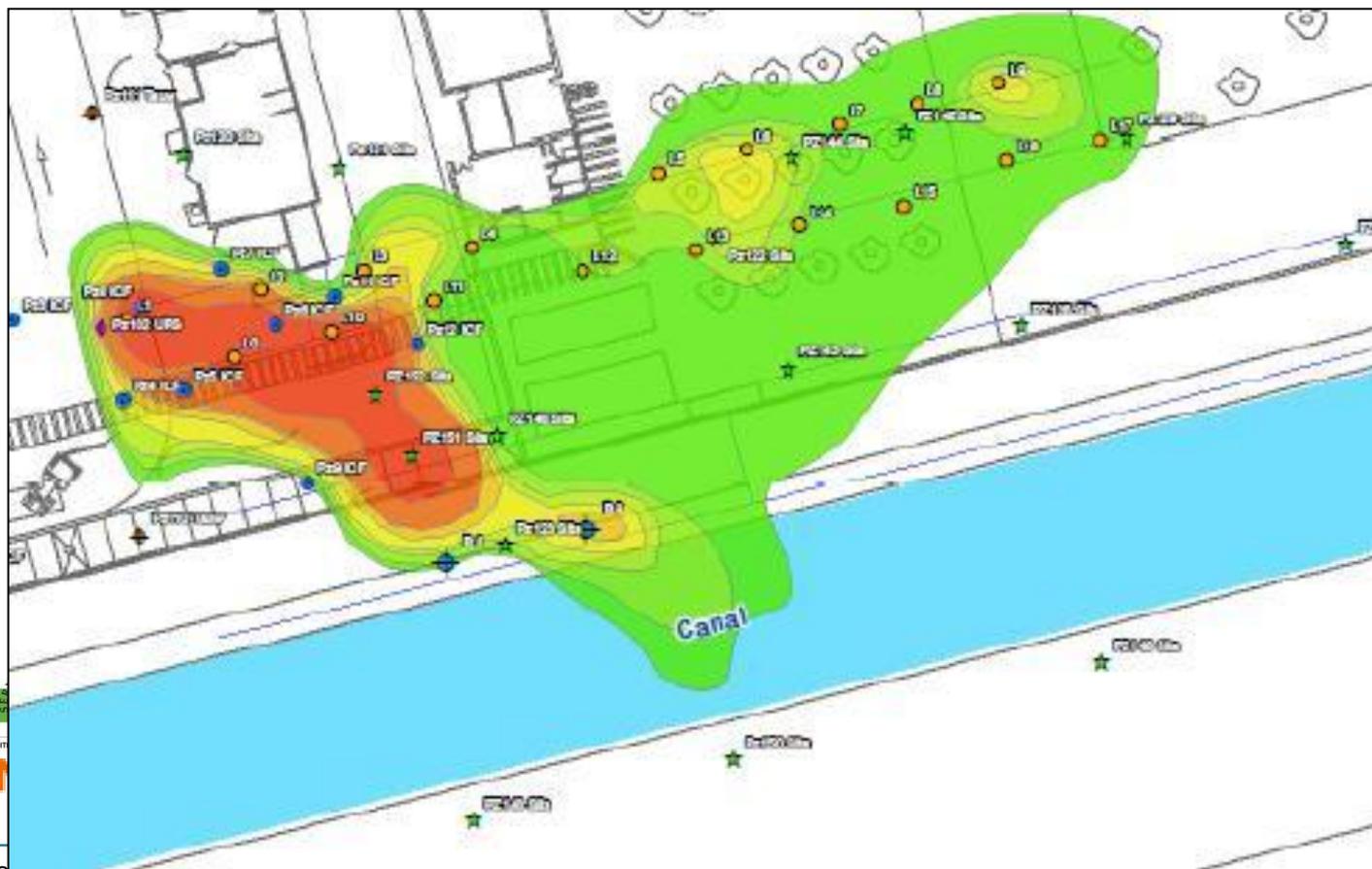
— Objectif : abattement 80 % des COHV (initialement 20 mg/l)



## La mise en œuvre du PG : exemple zone TCE Est

### > Adaptations en début de traitement

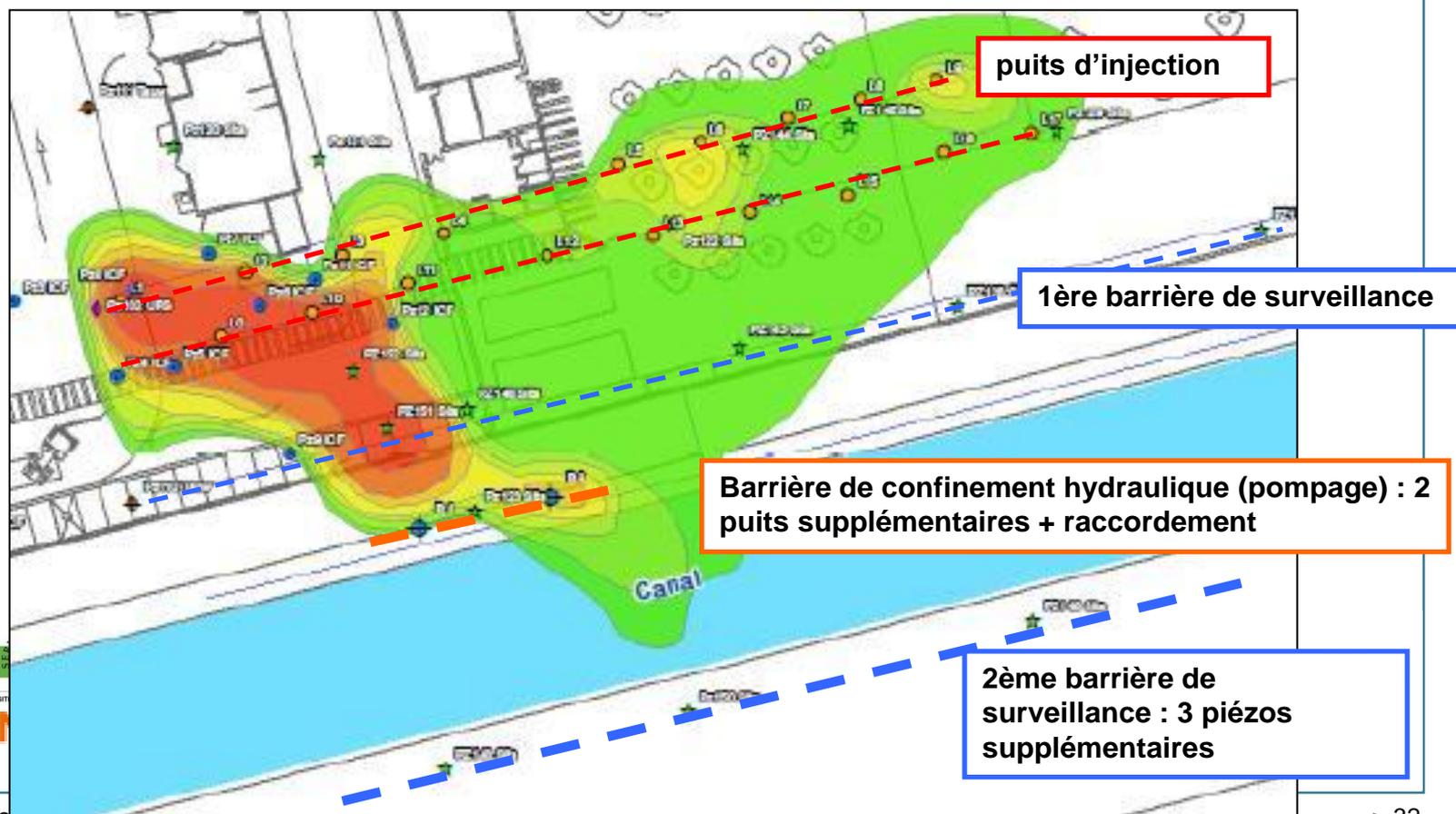
- Constat après installation : panache hors site
  - ➔ Confinement par pompage
  - ➔ Création d'une 2<sup>ème</sup> barrière de surveillance



## La mise en œuvre du PG : exemple zone TCE Est

### > Adaptations en début de traitement

- Constat après installation : panache hors site
  - ➔ Confinement par pompage
  - ➔ Création d'une 2<sup>ème</sup> barrière de surveillance



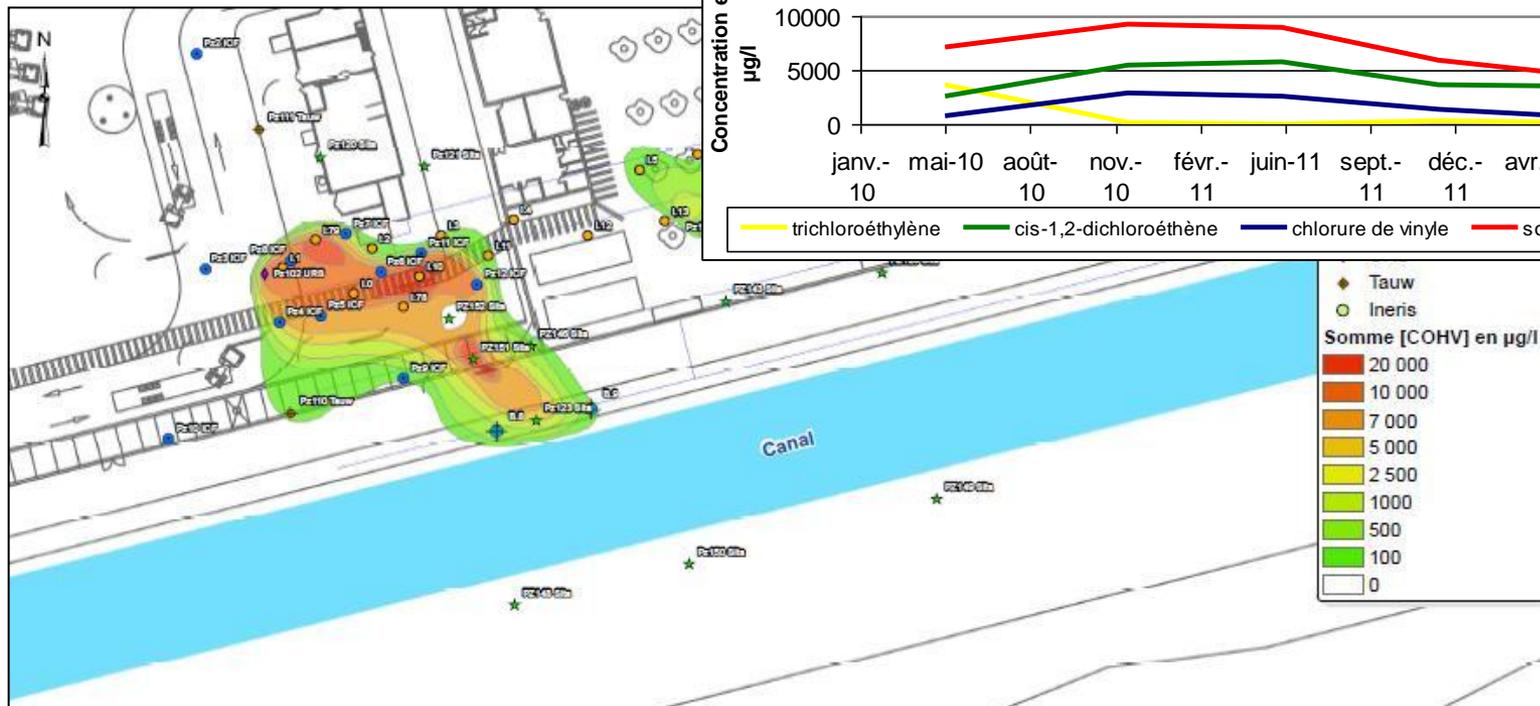
# Suivi de traitement : exemple zone TCE Est

➤ Etat juin 2012



# Suivi de traitement : exemple zone TCE Est

## > Etat juin 2012

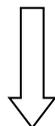
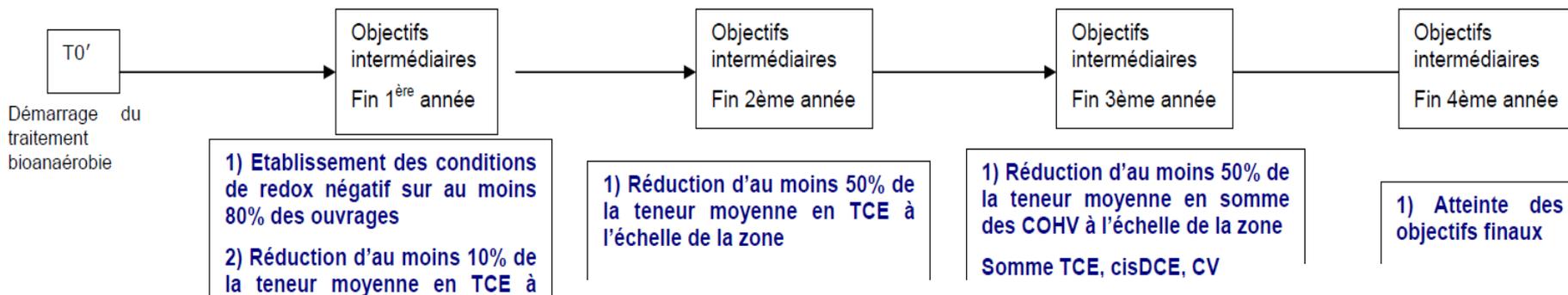


Rédox négatif sur 100% des ouvrages

Abattement du TCE (98%) et COHV (39%)

Abattement des COHV en zone source (33%) et panache (98%)

# Suivi de traitement : exemple zone TCE Est



Objectif : réduction d'au moins 50% de la teneur moyenne en TCE

Etat CONFORME à l'objectif intermédiaire

| Abattement TCE           | déc.-10    | juin-11    | déc.-11    | juin-12    |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Piézomètre de traitement | 95%        | 98%        | 92%        | 98%        |
| Piézomètre de suivi      | 89%        | 36%        | 52%        | 41%        |
| <b>Total zone</b>        | <b>94%</b> | <b>81%</b> | <b>81%</b> | <b>82%</b> |



# La mise en œuvre du PG : exemple zone TCE Ouest2

## > Le traitement dimensionné

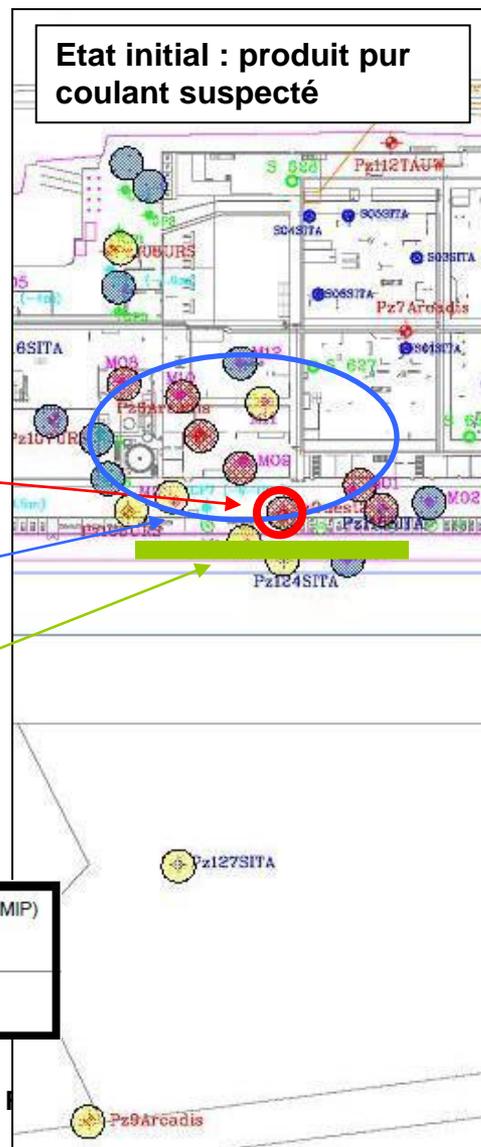
- Objectif sur somme des COHV :
  - < 5 mg/l sur 80 % des ouvrages
  - < 10 mg/l sur 100 % des ouvrages

1ère phase : oxydation ponctuelle dans zone de produit pur suspecté (PZ OUEST2, 200 à 300 mg/l en TCE)

2ème phase : traitement biologique anaérobie sur l'ensemble de la zone

Confinement hydraulique pendant le traitement

- aucun impact ou impact très faible (< 0,1 mg/l ; pas ou très peu de réponse MIP)
- impact faible ou moyen (0,1 à 3 mg/l ; réponse MIP faible ou moyenne)
- impact important (> 3 mg/l ; réponse MIP forte)



## Mise en oeuvre : zone TCE Ouest2

### > Etat initial juin 2010

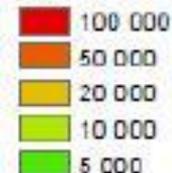
- Plus de produit pur que prévu → BCA oxydation devenu défavorable

### > Adaptation de la première phase de traitement

- Passage en pompage + traitement de l'eau
- Adjonction d'un réacteur photochimique H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV adapté aux fortes teneurs



Somme des COHV



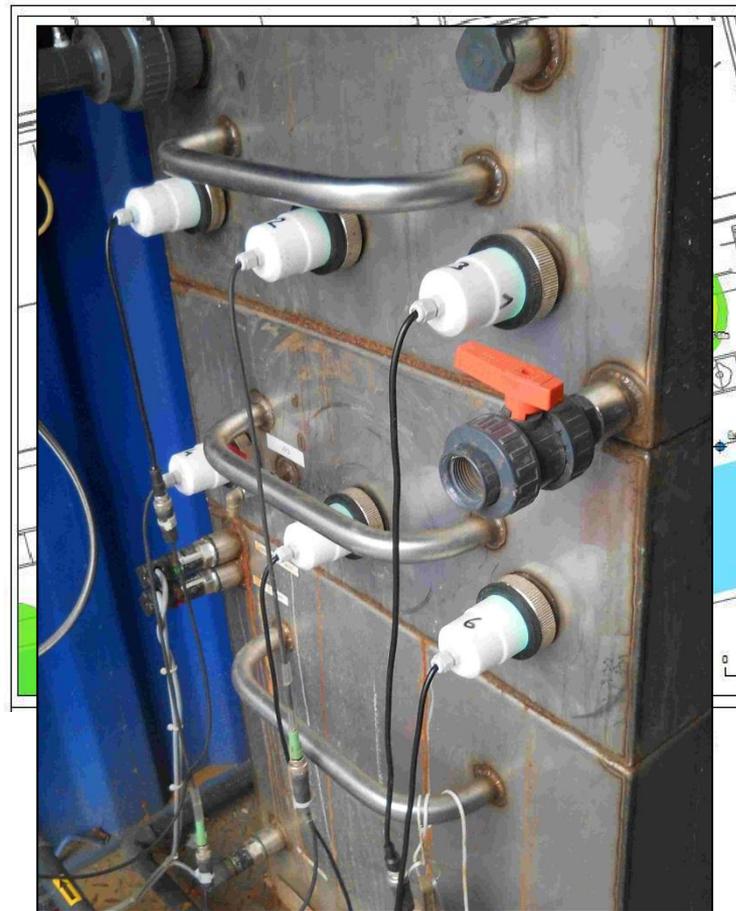
## Mise en oeuvre : zone TCE Ouest2

### > Etat initial juin 2010

- Plus de produit pur que prévu → BCA oxydation devenu défavorable

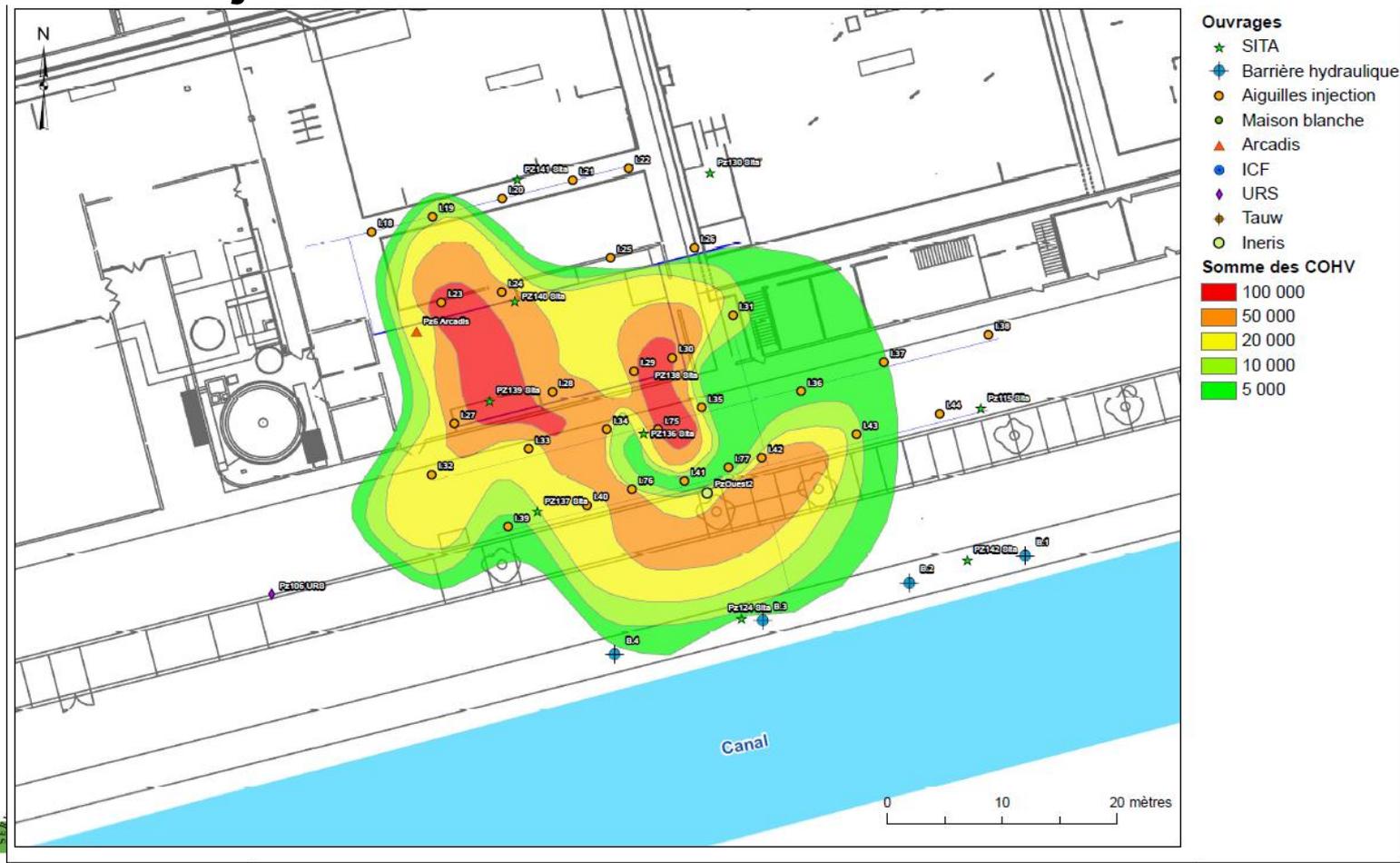
### > Adaptation de la première phase de traitement

- Passage en pompage + traitement de l'eau
- Adjonction d'un réacteur photochimique H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV adapté aux fortes teneurs



# Suivi de traitement : zone TCE Ouest2

## > Etat juin 2012



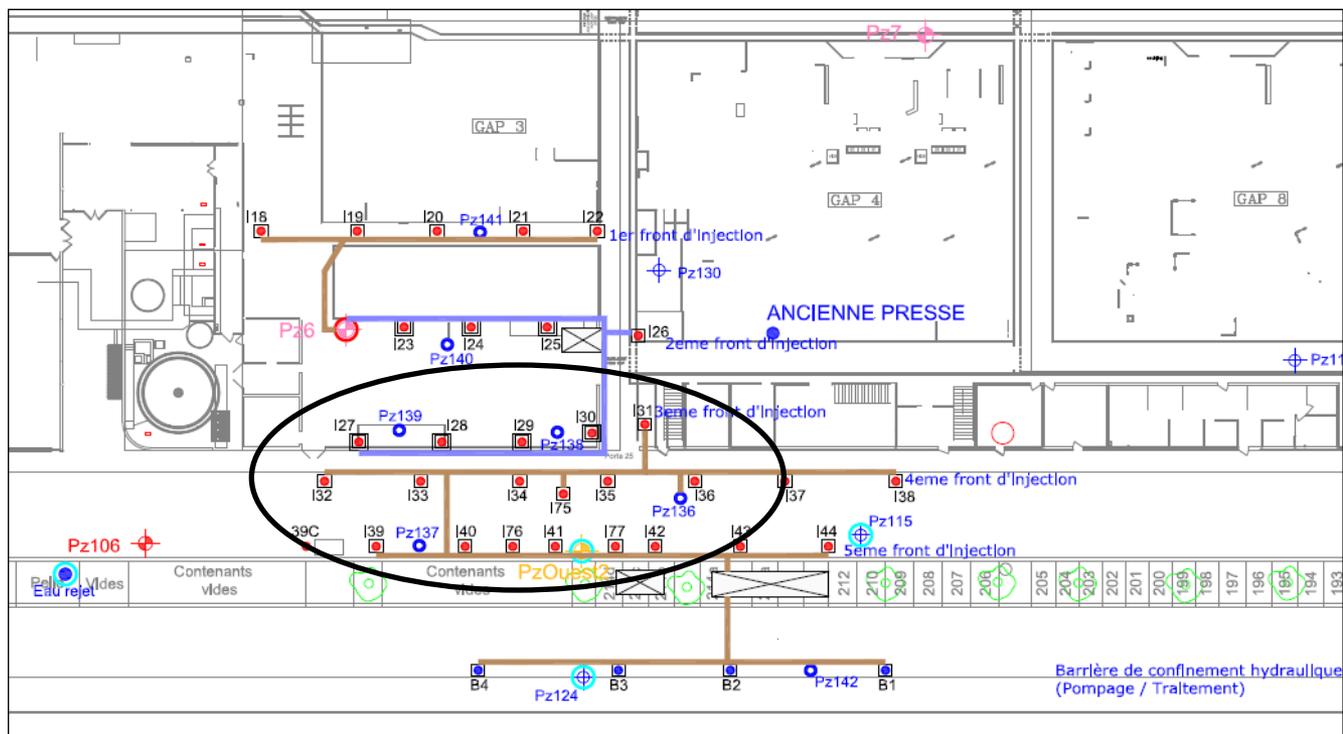
SITES ET SOLS POLLUÉS  
N° 131-020-2

**SITA REMEDIATION**  
la terre au sens propre

L. POUILLOT - SITA REMEDIATION, J-P. MAILLOT - ANVIS France  
S. COLOMBANO - BRGM



# Suivi de traitement : zone TCE Ouest2



Photoréacteur :

Volume pompé : 2850 m<sup>3</sup>

Masse extraite (pompage) : 326 kg

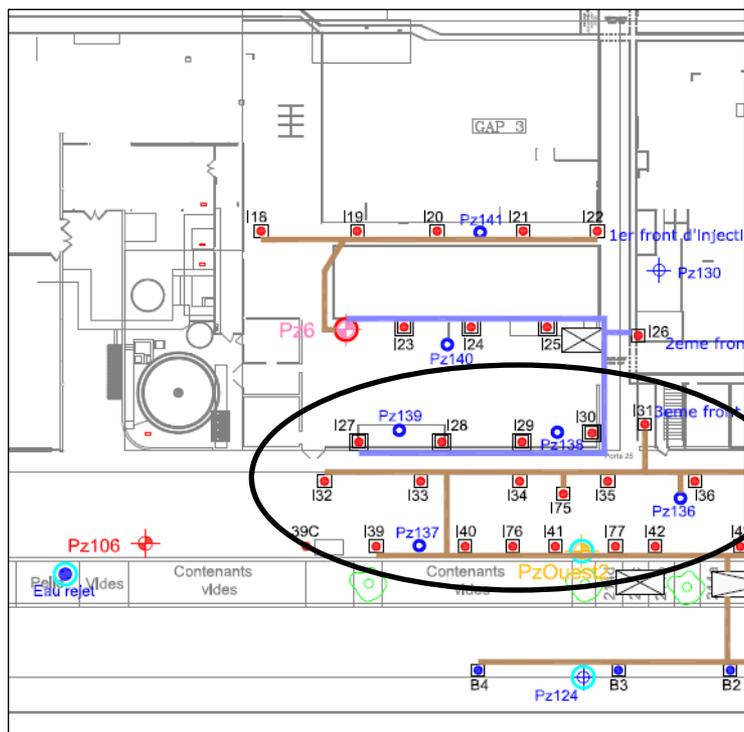
|              |               |              |        |             |
|--------------|---------------|--------------|--------|-------------|
| ETES<br>ST 2 | Echelle :     | 0 5 10 m     |        | Format : A3 |
|              | Dessiné par : | Serge NEBOIS | Annexe |             |
| N°Affaire :  | GF 09 0020    | -            |        |             |
| Agence :     | Service GP    | Figure       |        |             |
| Date :       | 08/06/2010    | -            |        |             |
| Version :    | V1a           |              |        |             |



L. POUILLOT - SITA REMEDIATION, J-P. MAILLOT – ANVIS France  
S. COLOMBANO - BRGM



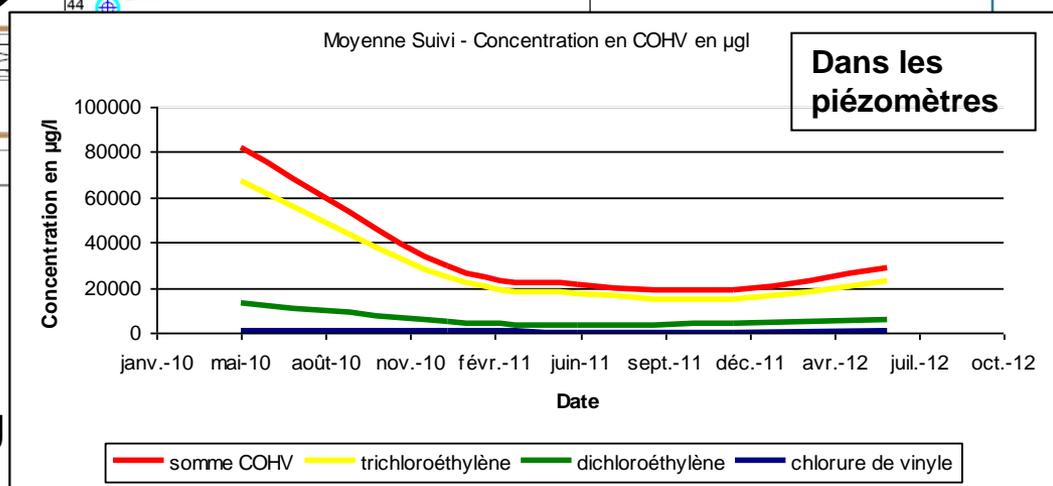
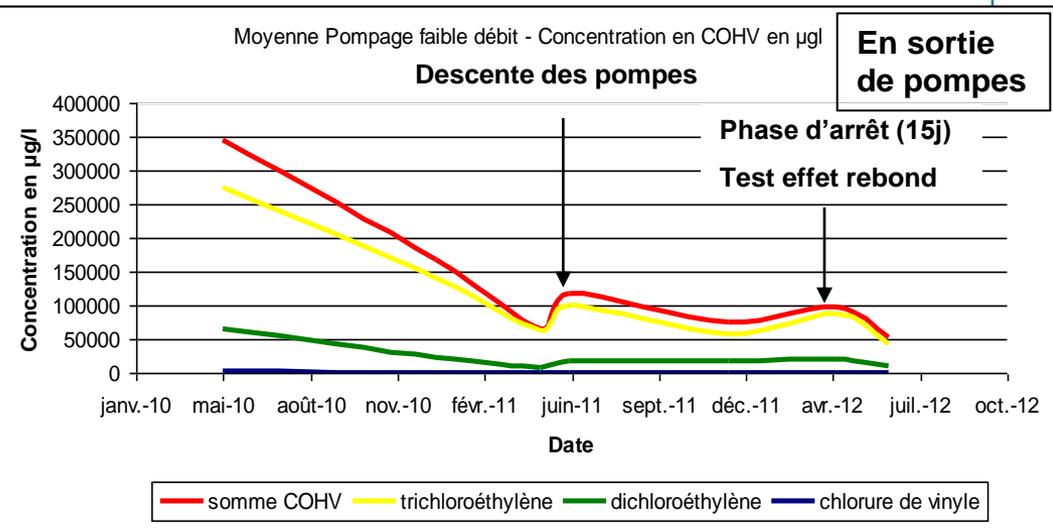
# Suivi de traitement : zone TCE Ouest2



Photoréacteur :

Volume pompé : 2850 m<sup>3</sup>

Masse extraite (pompage) : 326 kg

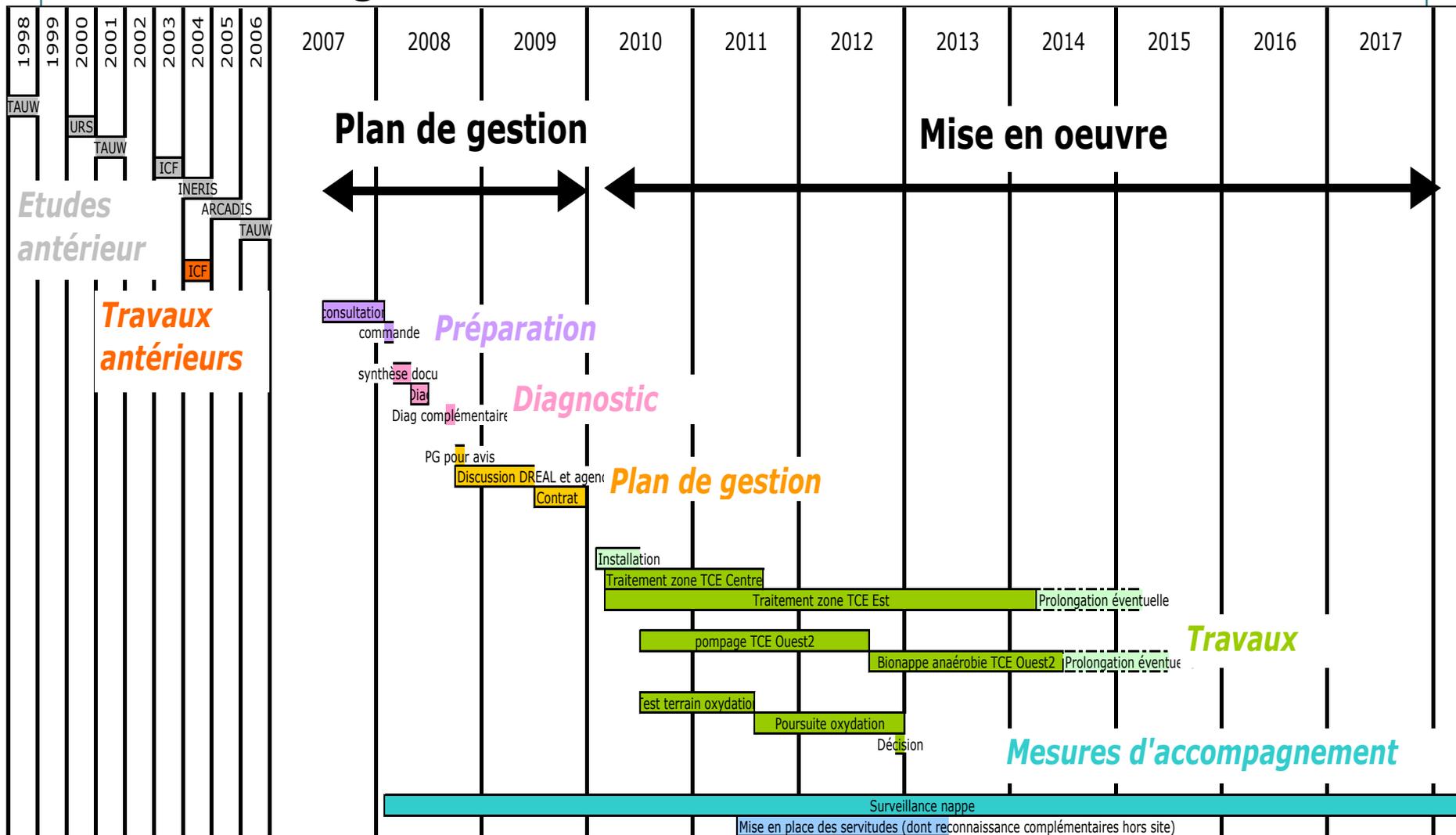


# Réception

## > Protocole de réception

- Anticipé dans le contrat
  - Ouvrages de contrôle et mode de calcul
  - Clauses permettant d'éviter les impasses (ex : teneurs ponctuelles résiduelles élevées liées à la géologie)
- Atteinte des objectifs intermédiaires et finaux ?
  - Retenue si objectifs intermédiaires non atteints
  - Engagement de SITA REMEDIATION pour une année de traitement supplémentaire
  - Bonus si objectifs atteints plus rapidement
- Si blocage (limites techniques)
  - Une ARR peut valider l'arrêt du traitement si objectifs réellement non atteignables

# Calendrier général de la démarche



# Conclusion : le dossier vu par le maître d'ouvrage

## > Importance du travail préparatoire

- L'implication d'ANVIS (étude historique) a été bénéfique
- L'investissement « diagnostic » a diminué le coût « travaux »

## > Investissement environnemental

- Gestion du passif environnemental = investissement pour pérenniser le site
- Ce projet particulier a été subventionné

## > Communication

- Politique gagnante de communication transparente
- Au près des riverains
- En interne (représentants du personnel), sans juger les anciennes pratiques

## > Points forts de la gestion de ce chantier

- Engagement de résultat
- Optimisation des process en cours de chantier (conso CA)

## Conclusion : le dossier vu par le BRGM

- > **Hierarchisation des actions curatives**
- > **Travail sur les sources de pollutions les plus concentrées et/ou émettant les panaches les plus conséquents**
- > **Essais de traitabilité**
- > **Travail sur les bilans de matière, les rendements épuratoires, et sur les meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable (MTD)**
- > **Anticipation du protocole de réception des travaux**
- > **Sécurisation des risques projet :**
  - Financier
  - Impact hors site

# Questions...

