

# Bio-dépollution In Situ et précipitation des métaux lourds - Application au Grand Terril de Chrome de Wattrelos

Une solution durable de réhabilitation  
T.GISBERT et T. WOHLHUTER,



CFMS, le 10 décembre 2013

# Ce dont nous allons parler...

- La friche « PCUK » et le Grand Terril de Chrome en quelques mots
- Situation initiale et premières mesures
- La technique de l'In-Situ Reactive Zone (IRZ), principes
- Comment convaincre : du laboratoire au terrain
- L'IRZ, une technique de réhabilitation durable

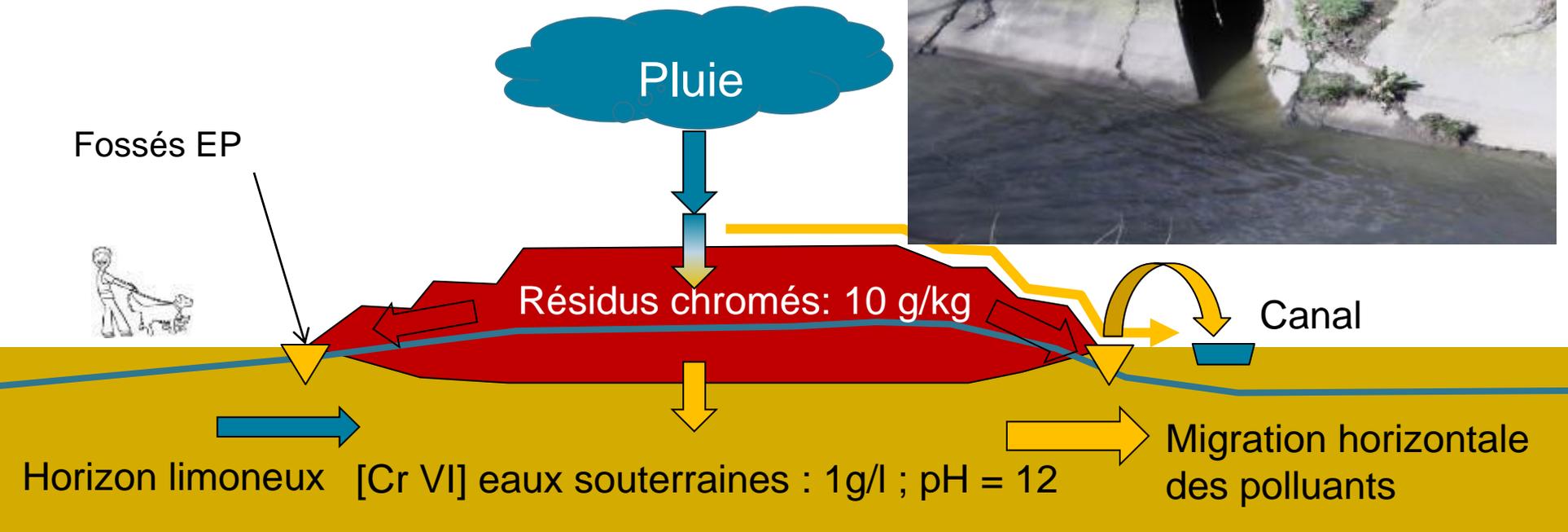
# La friche « PCUK » en quelques mots

- Un siècle d'activités minières et de transformation de minerais
- Pollution importante des sols et des eaux souterraines sur la friche, particulièrement par le  $\text{Cr}^{\text{VI}}$  et As
- SOLVAY DRE (anciennement RHODIA) chargé de la réhabilitation du terril de chrome



# Principaux constats jusqu'aux années 80

- Les eaux de pluies s'infiltraient directement dans le terril → pollution des eaux souterraines en aval, notamment par du CrVI
- Eaux de surface → les eaux polluées étaient drainées par l'ancien système d'égouts et rejetées dans les canaux proches du site
- Pas de barrière autour du site → problématique H&S pour les visiteurs



Argile des Flandres

# Etat initial : flaques et Cr VI



# Vue initiale des canaux



# Vue initiale : rejet à l'Espierre

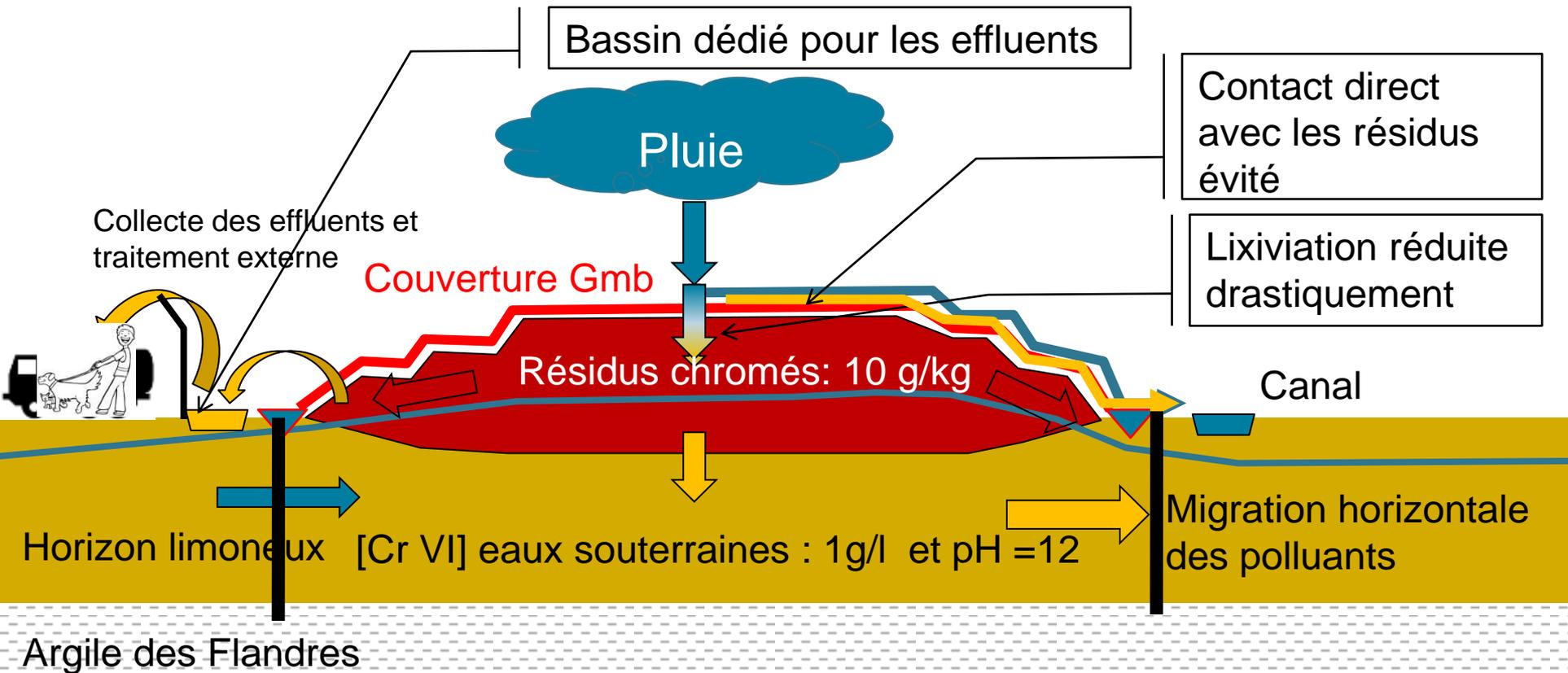


# Wattrelos – Nappe chargée en Cr VI (1 à 4 g/l)



# Premiers travaux sur site (années 80-90)

- Mise en place d'une clôture
- Installation d'une géomembrane bitumineuse en couverture (âge 27 ans)
- Drainage des effluents à la base du terril via un système dédié
- Mise en place d'une ceinture de confinement hydraulique par palplanches



# Voisinage du Terril et clôture



# Une couverture en géomembrane bitumineuse ... vieillissante



# Avec ce traitement externe : durée estimée de 100 à 300 ans pour atteindre la concentration « cible » dans les eaux souterraines

Traitement externe

40 000 à 55 000  
m<sup>3</sup> / an

Couverture

Résidus chromés :  
10 g/kg

Zone saturée

Collecte des effluents

- 5000 m<sup>3</sup> /an
- [CrVI] = 1g/l
- 5 tonnes /an



1 M€/an



~200 000 km/an  
(650 km aller)

> 300 camions /an

Bassin



Transport hors site



6

8

# Ce mode de gestion est-il conforme aux principes du développement durable ?

Evidemment non !

- **100 à 300 ans** de traitement hors-site
- **Solution externe** – moins de maîtrise
- **Solution non locale** (650 km entre le site et l'installation de traitement hors-site)
- Entre **20 et 65 millions de kilomètres** à parcourir pendant cette durée, pendant laquelle le risque qu'un accident impliquant le camion de transport augmente
- Solution très dépendante des variations du prix du pétrole

# La biorémediation in-situ, ou l'IRZ, une solution durable de réhabilitation du Grand Terril de Chrome

# In Situ Reactive Zones : IRZ = Bio-dépollution Sur Site



“... création d’une zone de sub-surface où les conditions sont volontairement modifiées afin de favoriser des processus naturels au cours desquels les polluants sont piégés et définitivement immobilisés ou dégradés en produits finaux inoffensifs.”

# Les bio-dépollutions de sites pollués en métaux lourds : Application au Chrome en milieu réducteur

# Précipitation du $\text{Cr}^{6+}$ en $\text{Cr}^{3+}$ : Théorie simplifiée

- Le  $\text{Cr}^{6+}$  est la forme la plus mobile, volatile et cancérigène du chrome.
- Particulièrement mobile sous conditions aérobies, oxydantes.
- En milieu réducteur,  $\text{Cr}^{6+}$  est instable et se transforme en  $\text{Cr}^{3+}$ .
- $\text{Cr}^{3+}$  est très réactif en milieu réducteur et se complexe sous forme de  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ , l'hydroxyde de chrome ou de complexes Fe/Cr amorphes ou cristallisés.
- Ces composés se forment en zone vadose ou dans l'aquifère.
- Ils sont stables et de très faible solubilité.
- Seules des conditions très acides ou oxydantes pourraient remobiliser les produits néoformés.

# Précipitation du Cr<sup>6+</sup> - Théorie (équations simplifiées)

Mécanisme mis en jeu : apport d'hydrates de carbone en milieu réducteur et formation d'hydroxydes



(dégradation du sucre par les bactéries)



(réduction du Cr<sup>VI</sup> en Cr<sup>III</sup>: accepteur d'électron)

et/ou



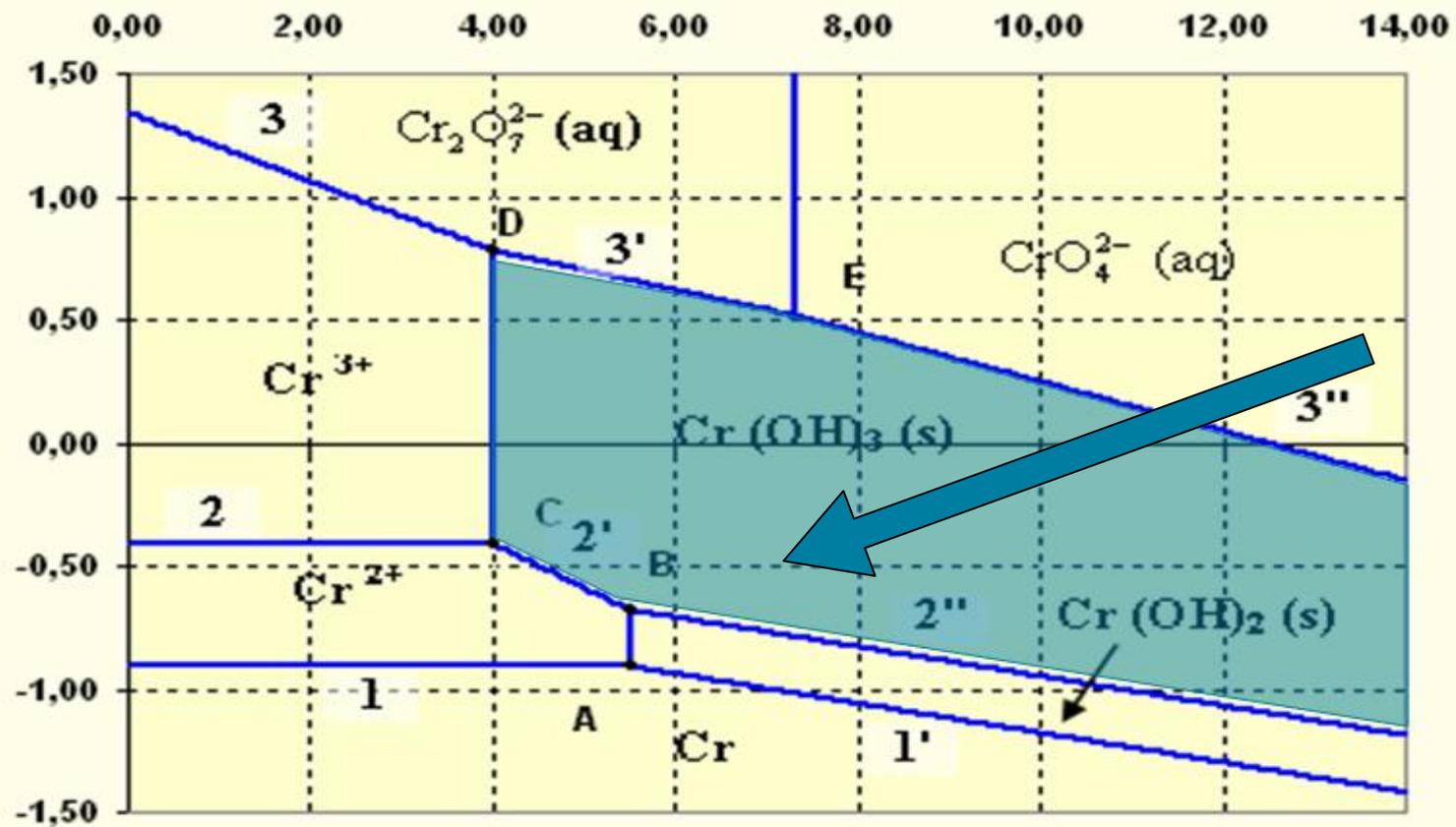
(Solubilisation du chromate en présence de Fe<sup>2+</sup>)



(réduction du chrome qui précipite sous forme d'hydroxydes insolubles)

# Domaine de stabilité de $\text{Cr}(\text{OH})_3$ solide ; le «chemin à parcourir»

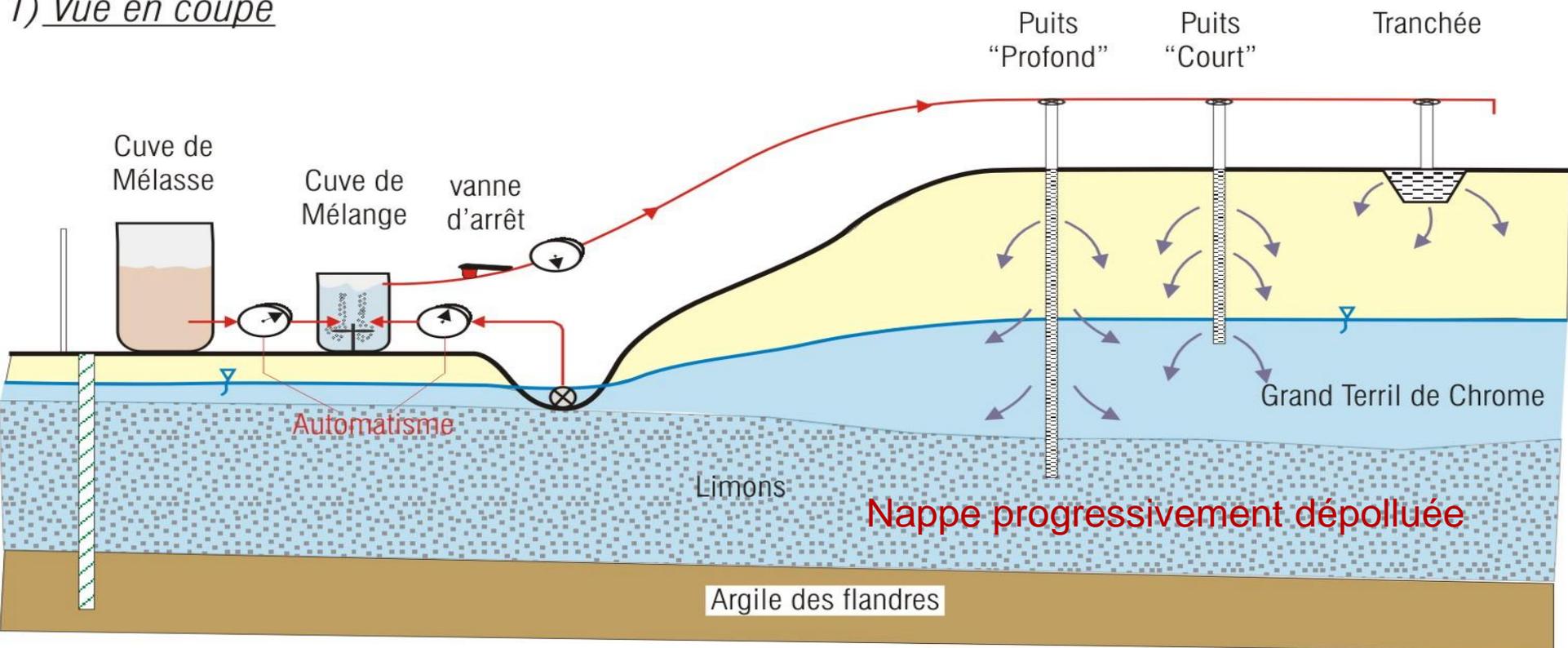
Diagramme potentiel-pH du chrome



# Schéma conceptuel de la mise en œuvre de l'IRZ

Mise en oeuvre de la dépollution sur site  
- Schémas de principe -

## 1) *Vue en coupe*



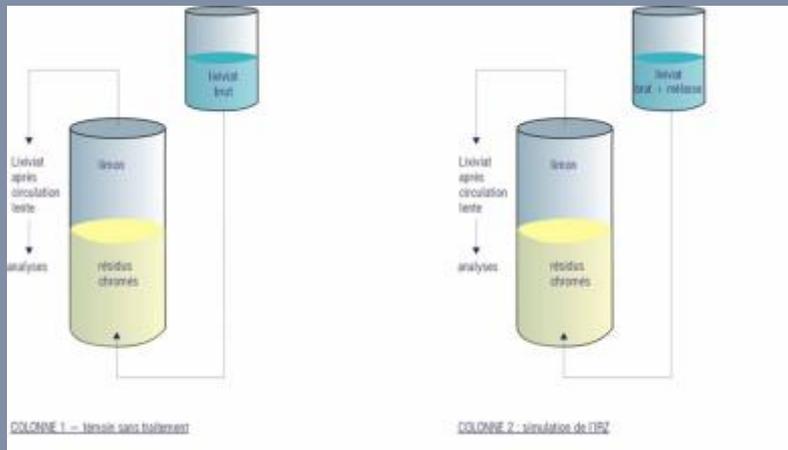
# Comment convaincre les différentes parties prenantes?

Première idée en 2003 qui conduit à...

1. Etude en laboratoire en 2005
2. Pilote sur site en 2008
3. Traitement du site : 2011-2013

# 2005 : Pilote de traitement en laboratoire sur les résidus chromés

- Matériaux utilisés : résidus de traitement de minerai de chrome ( $\text{Cr}^{6+}$  : 10 g/kg) sur des matériaux limoneux pour recréer des conditions similaires à celles du site
- Objectif: démontrer la faisabilité technique du traitement des résidus par IRZ et convaincre toutes les parties prenantes (y compris ARCADIS !)



# Résultats des essais en laboratoire : développement de l'IRZ possible !

1000 à 1200 mg/l au début

0,9 mg/litre après 3 mois

Efficacité du traitement sur le Cr VI => 99,9 %



# Seconde étape en 2008 : le pilote sur site

Mise en œuvre de 3 puits et une tranchée d'injection

+ Suivi via quelques ouvrages de contrôle

# Sondages et forages : la sécurité avant tout !!



# Les matériaux observés

- Charrées de chrome - Remblais hétérogène : limons, cendres, débris de bois, briques,...). Présence « spontanée » de chrome III de couleur verte : la faisabilité de l'IRZ est confirmée



- Argiles noires puis marron (de 11 à 16,5 m environ) puis Argiles des Flandres



# Le premier puits d'injection



# Pilote sur site : injection manuelle d'eau + mélasse



# Effet de l'injection sur le puits voisin (situé à 2m)



# Zone d'influence de l'injection suivie par panneau électrique



Ligne de  
mesure  
électrique

# Interprétation : influence des injections de quelques mètres

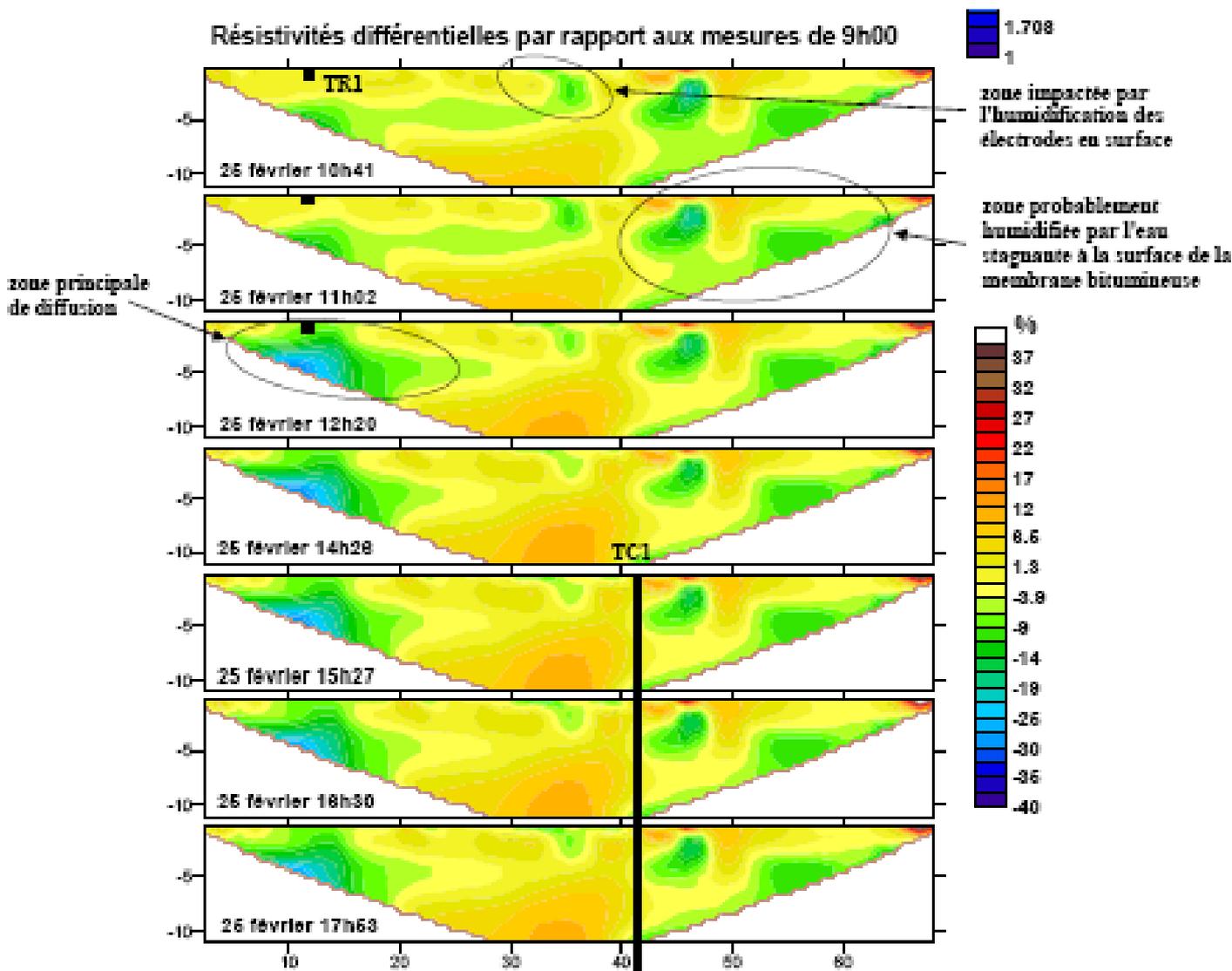


Figure 4 : cartographies différentielles enregistrées depuis la ligne L1 le 25 février

# Pilote sur site : premiers retours d'expérience

**Négatifs :** Grande variabilité sur site (matériaux, teneurs...)

**Positifs :**

- Faisabilité technique démontrée : redox, injections, etc.
- Les bactéries anaérobies sont présentes, malgré les fortes teneurs en CrVI (jusqu'à 10 g/l). Il y a de la vie dans le terril !



Troisième étape :

en 2011, enfin le traitement  
en vraie grandeur

# Vue initiale de l'ensemble du site « PCUK » Communes de Leers, Roubaix et Wattrelos



# Wattrelos – Site PCUK pendant les travaux sur la friche

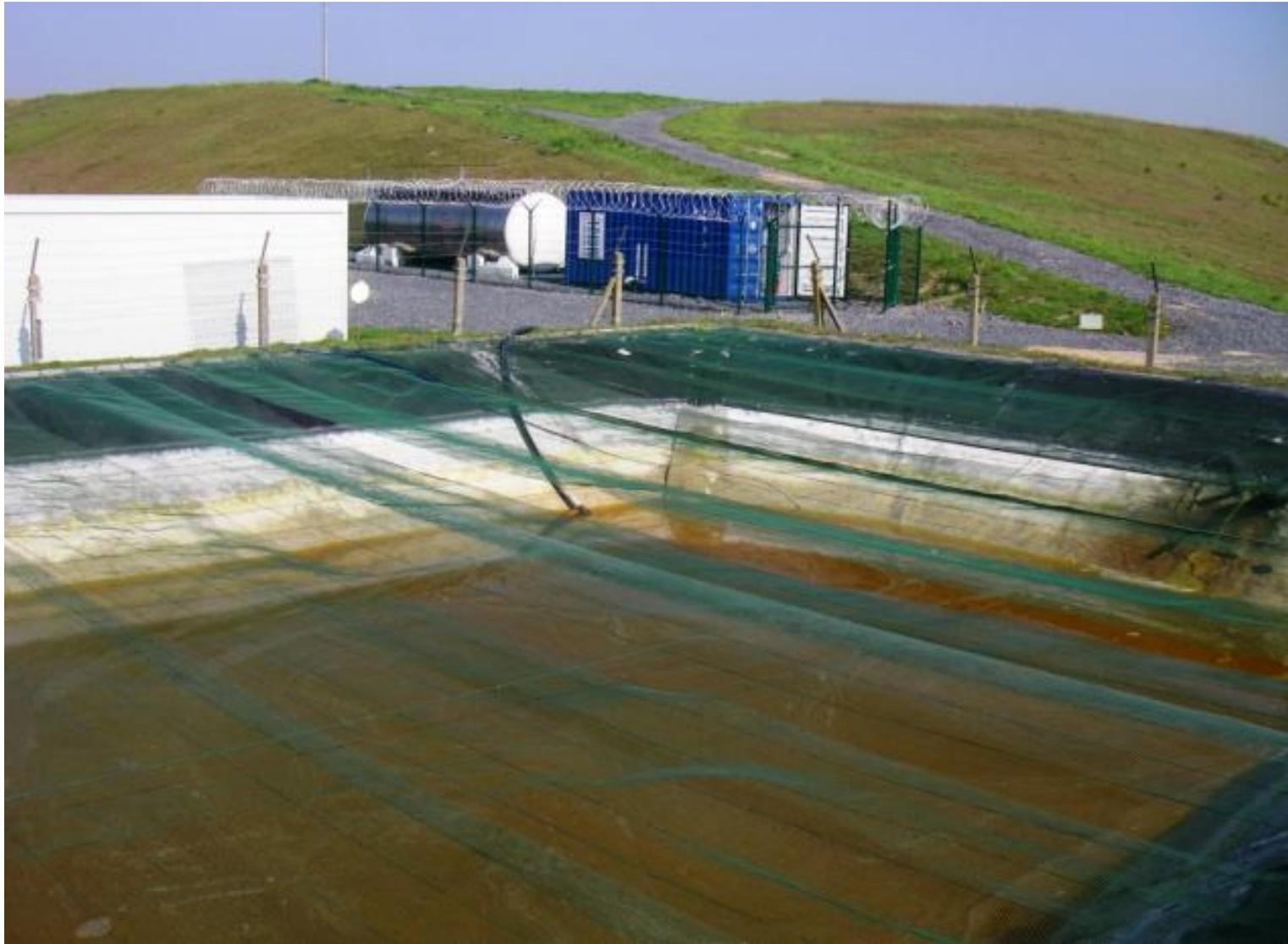


# Equipement du grand terril de Cr pour le traitement

- **110 puits** (80 puits d'injection + 30 puits de contrôle)
- **65 tranchées d'injection** (1,5 km !)
- Une cuve de 30 m<sup>3</sup> pour la mélasse
- Une unité de pompage, mélange, injection



# Bassin de collecte des lixiviats et unité de traitement et d'injection



# Ouverture pour mise en œuvre des 65 tranchées d'injection : sous la membrane, le Chrome !



# Un réseau de 110 puits d'injection et de monitoring

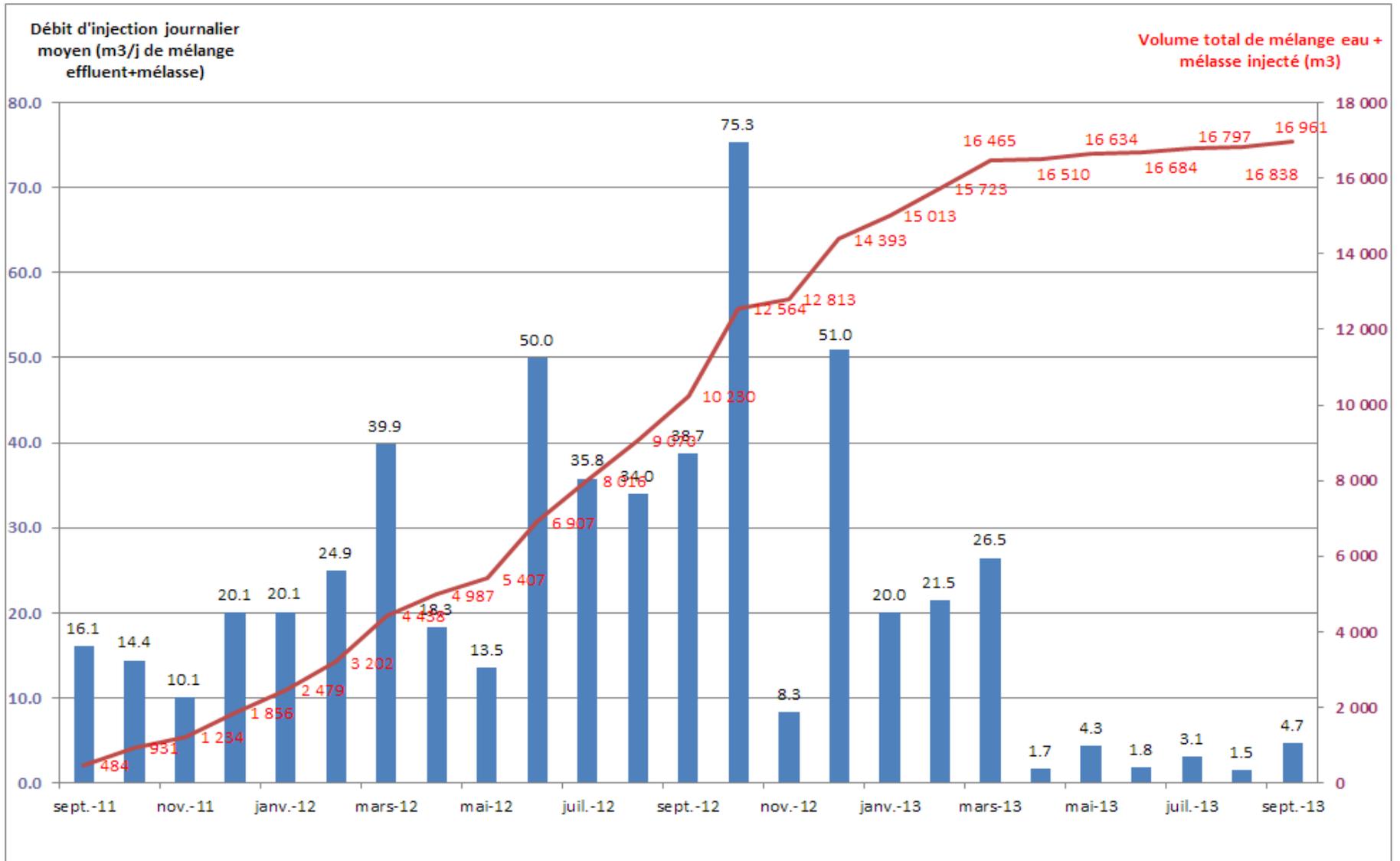


# Unité de distribution automatisée de l'eau mélassée



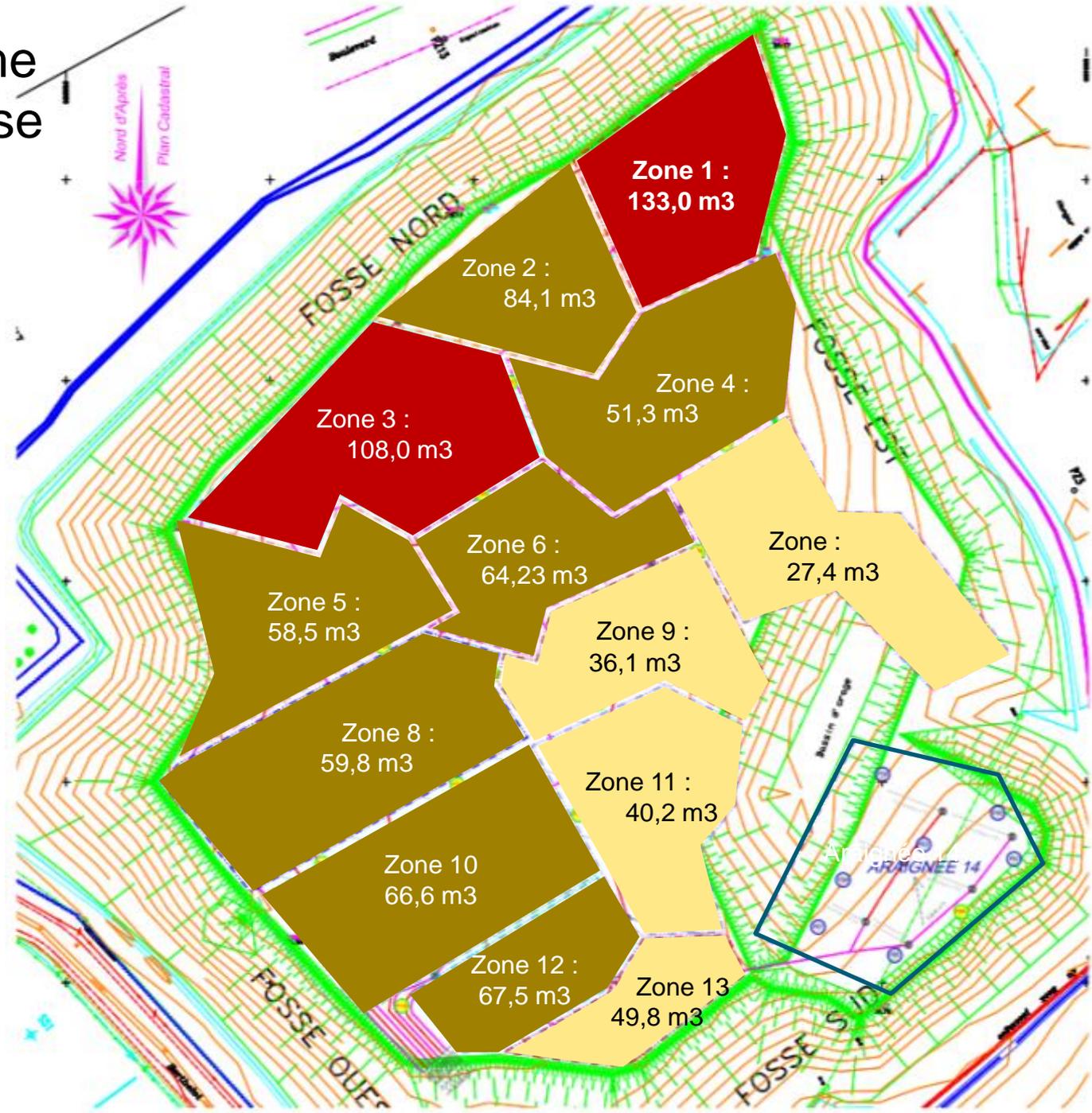
# Etat d'avancement du traitement en septembre 2013

# 17 000 m<sup>3</sup> de mélange liquide + mélasse injectés



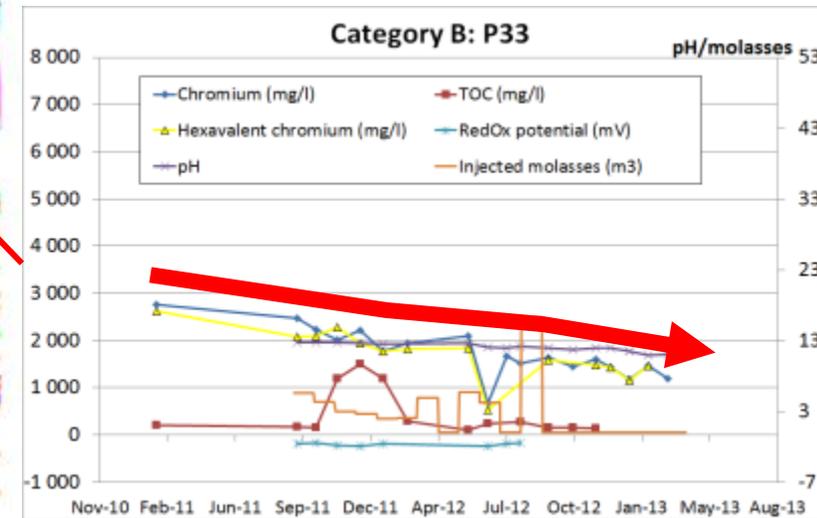
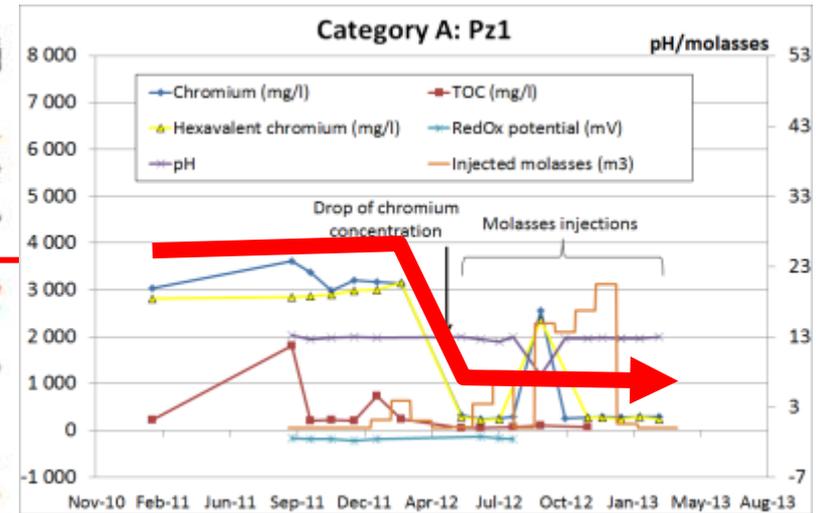
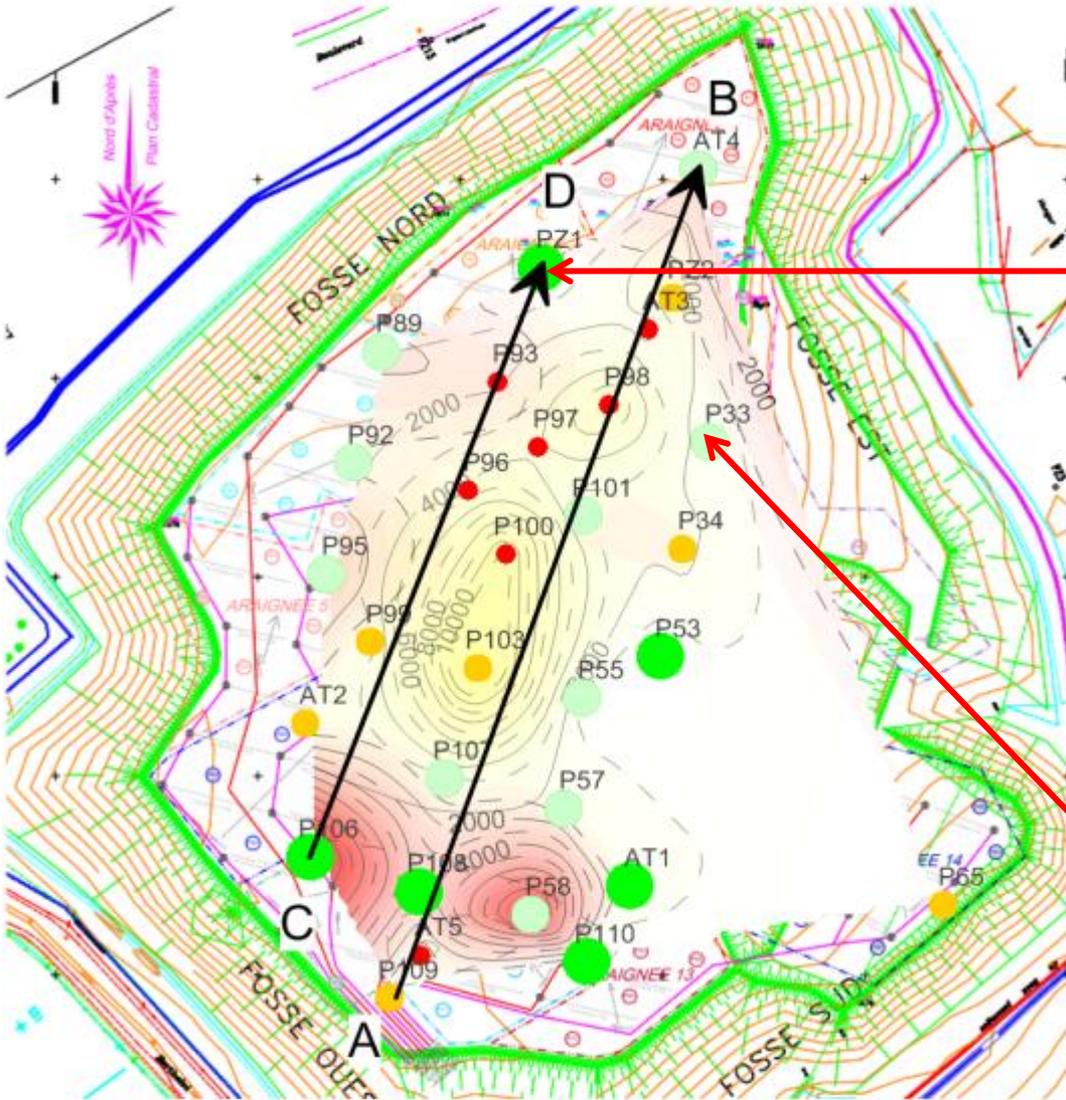
# Juin 2013 : Volume cumulé de mélasse par zone

- > 100 m<sup>3</sup>
- > 50 m<sup>3</sup> et < 100 m<sup>3</sup>
- < 50 m<sup>3</sup>

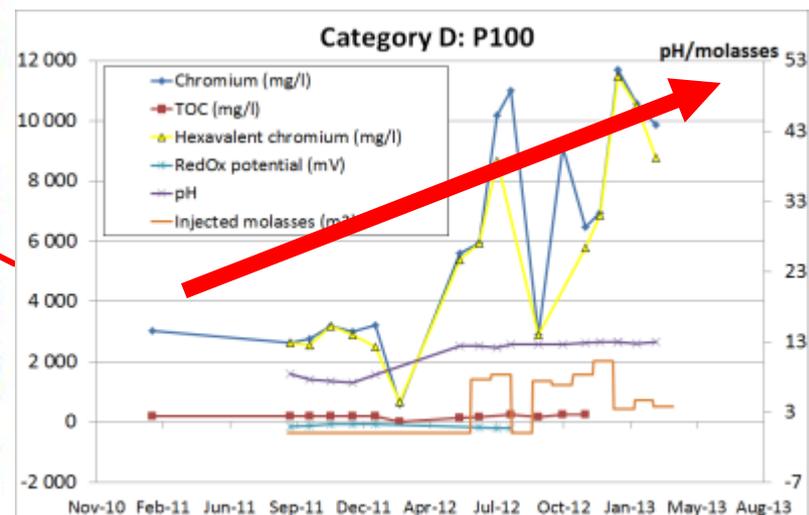
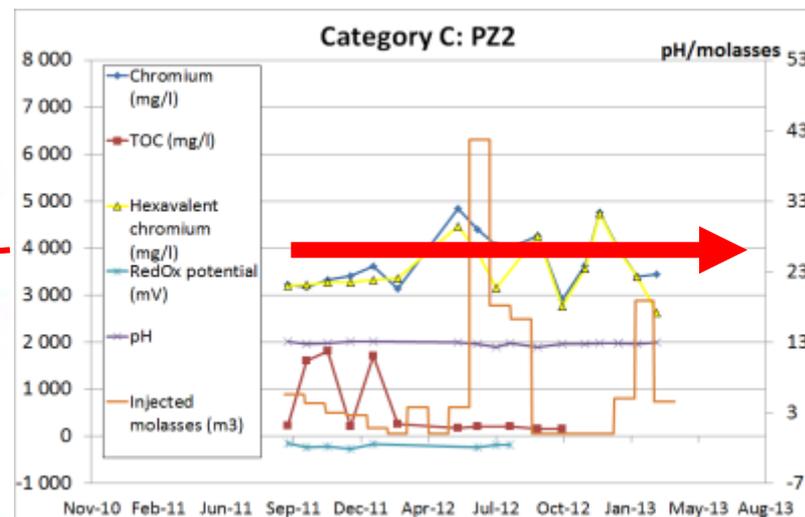
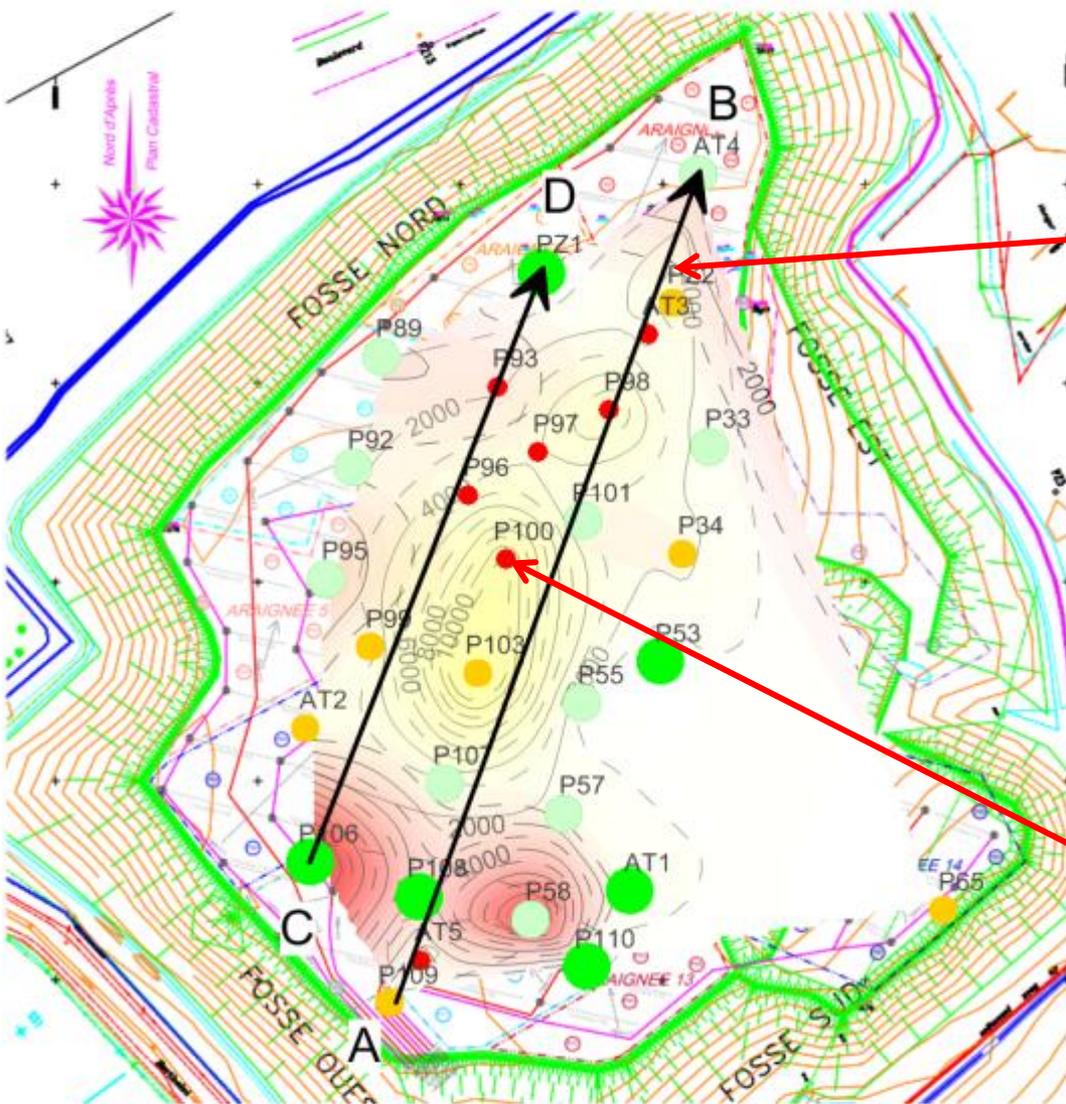




# Exemple de puits réactifs ; juin 2013



# Exemple de puits plus ou moins réfractaires ; juin 2013



Pourquoi l'IRZ est-elle une solution plus durable ?

# L'IRZ en quelques chiffres

Industrie sucrière



3 à 5 m€



~4 000 to 20 000 km  
(100 km aller)

40 000 à 55 000 m<sup>3</sup> / an

Couverture

Résidus chromés :  
10 g/kg

Zone saturée

1 500 to 7 200 tonnes de mélasse

Collecte des effluents

Augmentation du volume saturé

- 5000 m<sup>3</sup> /an
- [CrVI] = 1g/l
- 5 tonnes /an

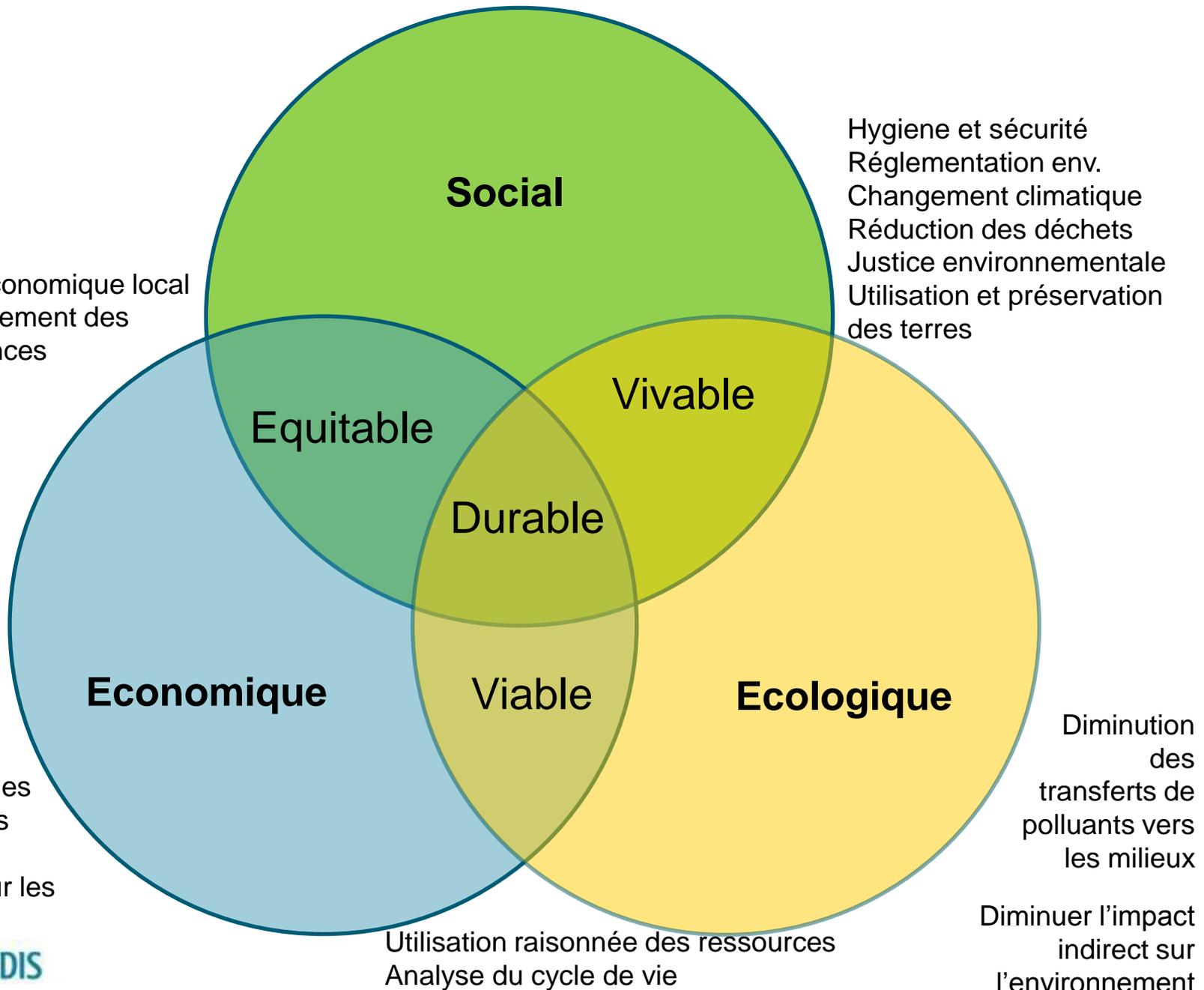
Bassin



# Comparaison entre l'IRZ et la solution « externe »

	IRZ	Traitement externe
<b>Durée</b>	3 à 7 ans	100 à 300 ans
<b>Transport routier</b>	<i>Pour transporter la mélasse</i> 40 à 200 camions	<i>Pour transporter les effluents</i> 30 000 à 100 000
<b>Km à parcourir</b>	<i>Entre la raffinerie et le site</i> Entre 4 000 et 20 000	<i>Entre le site et l'usine de traitement</i> Entre 19 500 000 et 65 000 000
<b>Demande en énergie</b>	Unité de pompage, mélange et injection (injection à 3m <sup>3</sup> /h)  La mélasse est un sous-produit de l'industrie sucrière	Transport (voir plus haut)  Traitement thermique des effluents (demande en énergie importante)
<b>H&amp;S</b>	Les effluents restent en majorité sur site et sont recirculés	Transport routier de produits toxiques et corrosifs
<b>Coût</b>	Entre 3 et 5 millions Euro	1 million Euro/an...

# L'IRZ, une solution durable



# L'IRZ, une solution de réhabilitation durable

- Le traitement du Grand Terril est maintenant en cours, après près de 100 ans d'existence
- Les équipements pour le traitement par IRZ sont en place
- La stimulation de phénomènes biologiques naturels est possible, même dans des conditions si drastiques
- Une solution durable qui nécessite beaucoup d'informations, d'ingénierie et de surveillance
- Par rapport à d'autres solutions : l'IRZ est moins chère, dure moins longtemps et est définitive
- Une approche « pas à pas », du laboratoire au terrain, a été nécessaire pour convaincre toutes les parties prenantes

# MERCI de votre attention

## Des questions ?



CFMS le 10, Décembre 2013