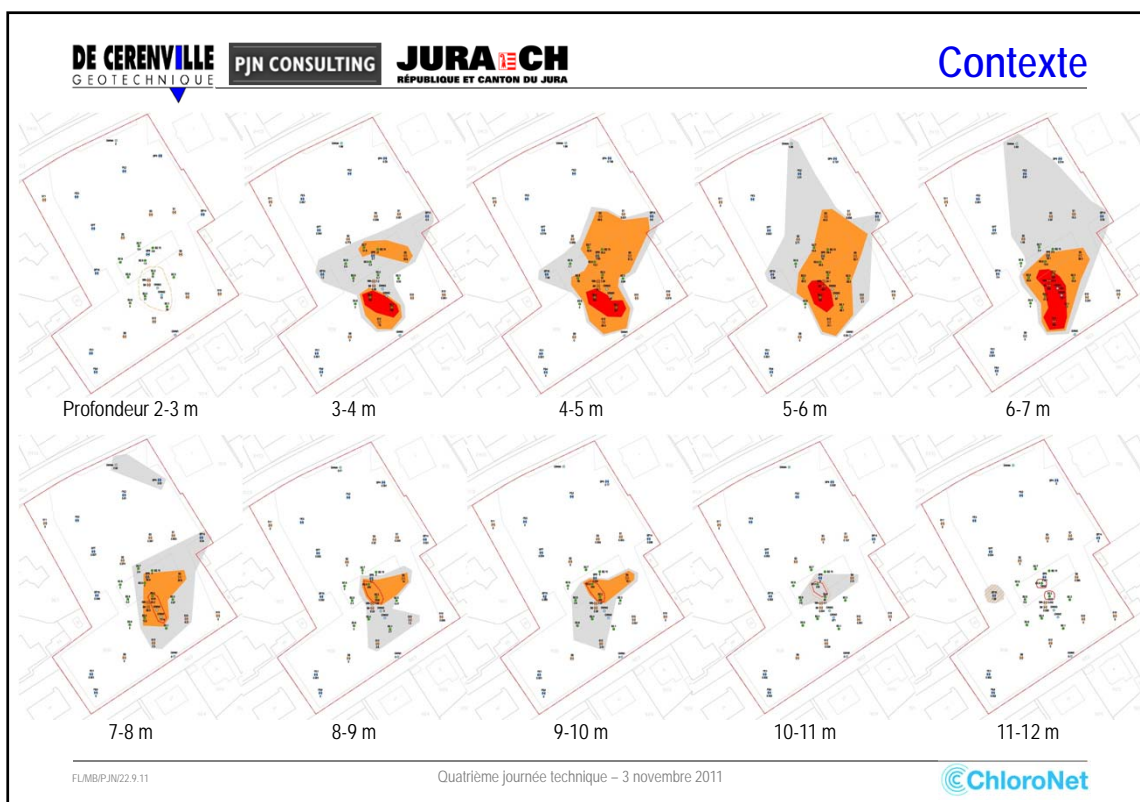
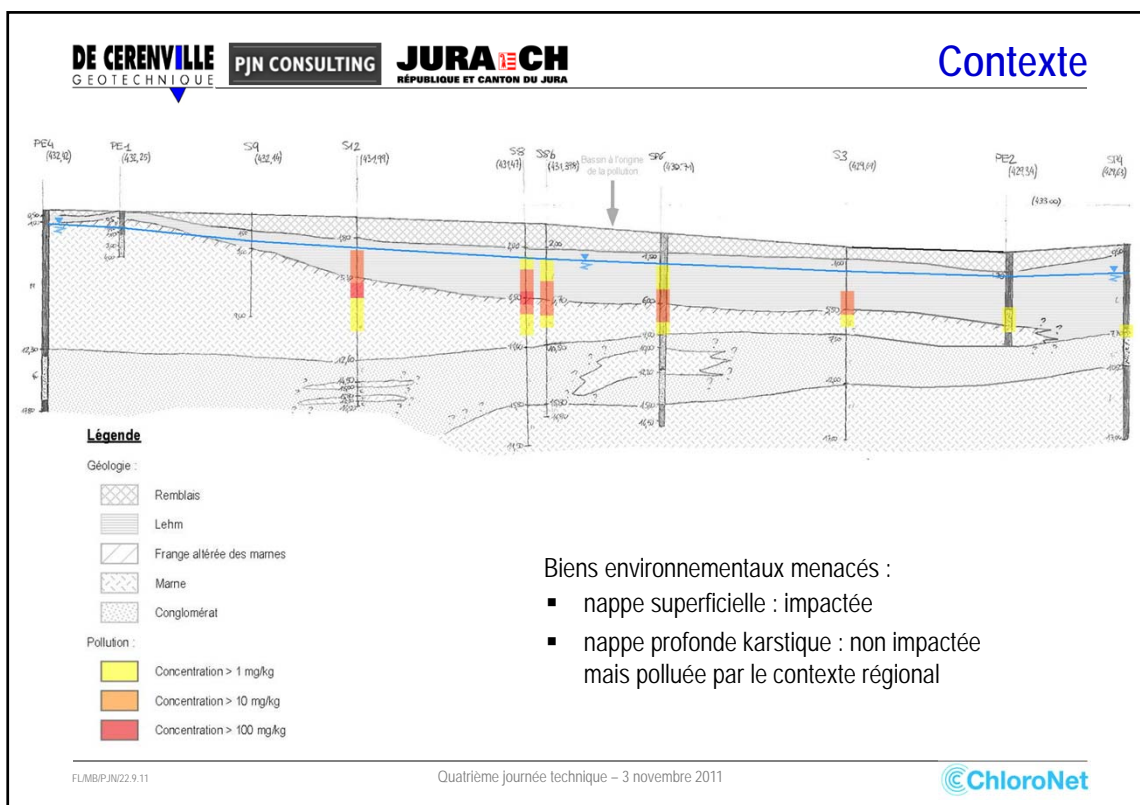


# Assainissement in-situ d'un ancien site industriel par extraction thermique des vapeurs du sol (SVTE)

## *Etablissement de l'objectif d'assainissement*

3 novembre 2011

- 1) Contexte
- 2) Objectif d'assainissement
  - a) Bases de réflexion
  - b) Identification du foyer de pollution
  - c) Objectifs étudiés
  - d) Répartition de la charge polluante
  - e) Prévision d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines
  - f) Etude multicritère de deux variantes selon deux objectifs
  - g) Objectifs et méthodes d'assainissement retenus
  - h) Mode de vérification de l'atteinte de la valeur cible
- 3) Procédé d'assainissement mis en œuvre



## a. Bases de réflexion

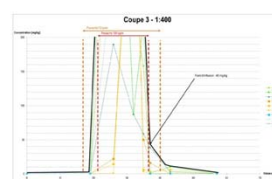
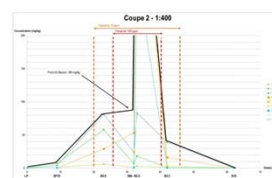
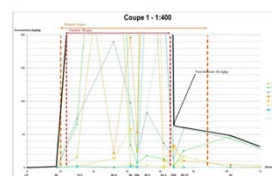
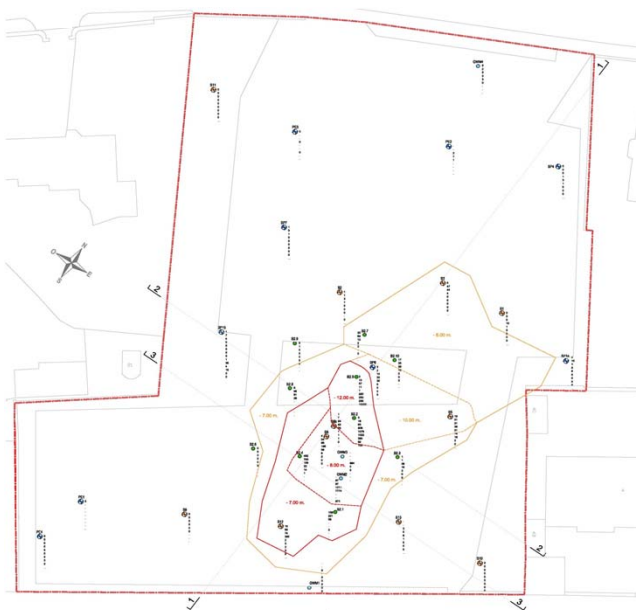
## Caractéristiques du site

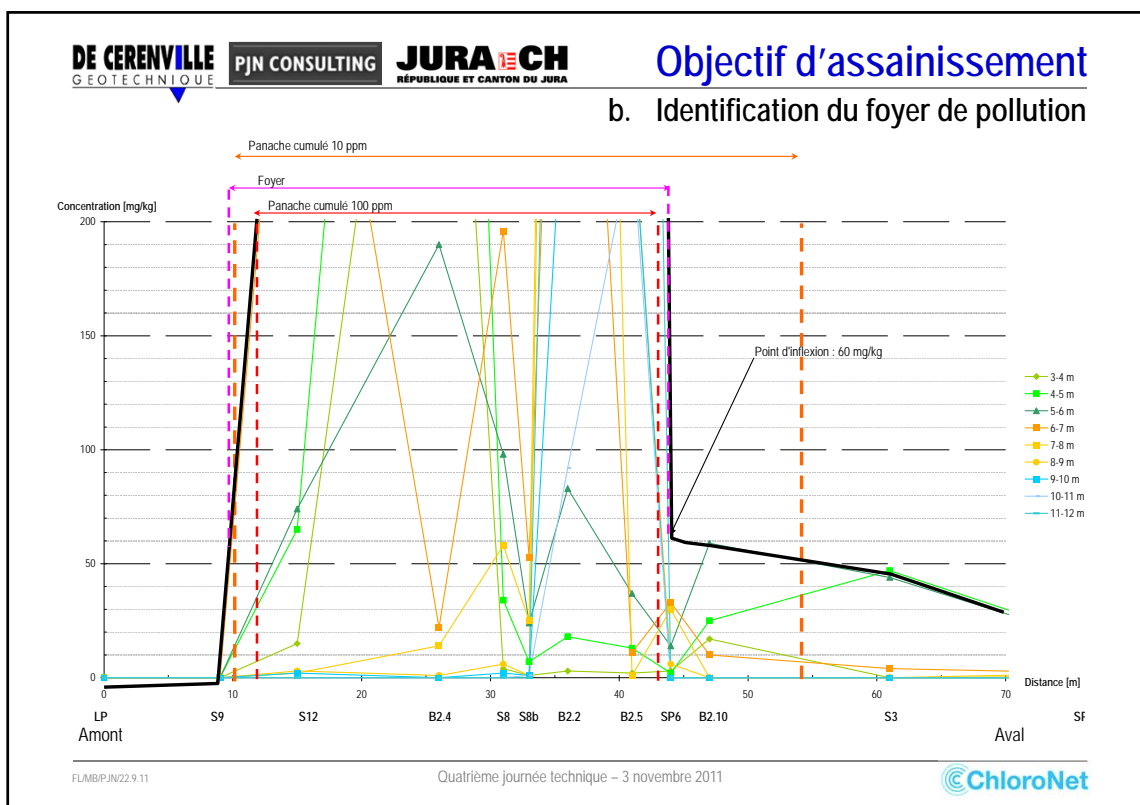
- Pollution généralisée des terrains (~2'900 m<sup>2</sup>, concentrations HHV > 1 mg/kg, total ~1'200 kg)
- Foyer de pollution circonscrit (~350 m<sup>2</sup>, → 12 m profondeur, concentrations HHV > 100 mg/kg)
- Terrains "imperméables" (10<sup>-6</sup> à 10<sup>-8</sup> m/s), hétérogènes, circulations d'eaux complexes
- Concentrations dans les eaux souterraines aval : 500-1'000 x OSites à ~50 m
- Secteur Au (karst sous-jacent), pas d'utilisation connue

## Conséquences sur la définition des objectifs d'assainissement

- Vu les caractéristiques du site (très faible perméabilité et hétérogénéités du terrain), la définition d'objectifs OSites selon les concentrations dans les eaux souterraines n'est pas applicable (ampleur du périmètre d'intervention, temps nécessaire, incertitudes)
- Nécessité de définir des objectifs selon des critères applicables et mesurables
- Exploitation de la marge de manœuvre offerte par l'article 15 OSites
- Base nécessaire : comparaison de variantes d'objectifs selon concentrations dans les terrains

## b. Identification du foyer de pollution





**DE CERENVILLE** **PJN CONSULTING** **JURA CH**  
GÉOTECHNIQUE RÉPUBLIQUE ET CANTON DU JURA

## Objectif d'assainissement

### c. Objectifs étudiés

- Objectif 1 : Assainissement du panache dont les teneurs dépassent **1 mg/kg** d'organochlorés totaux dans les sols (valeur seuil OTD pour déchets inertes).
- Objectif 2 : Assainissement du panache dont les teneurs dépassent **10 mg/kg** d'organochlorés totaux dans les sols.
- Objectif 3 : Assainissement du panache dont les teneurs dépassent **100 mg/kg** d'organochlorés totaux dans les sols.

FLMB/PJN/22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

ChloroNet

## d. Répartition de la charge polluante

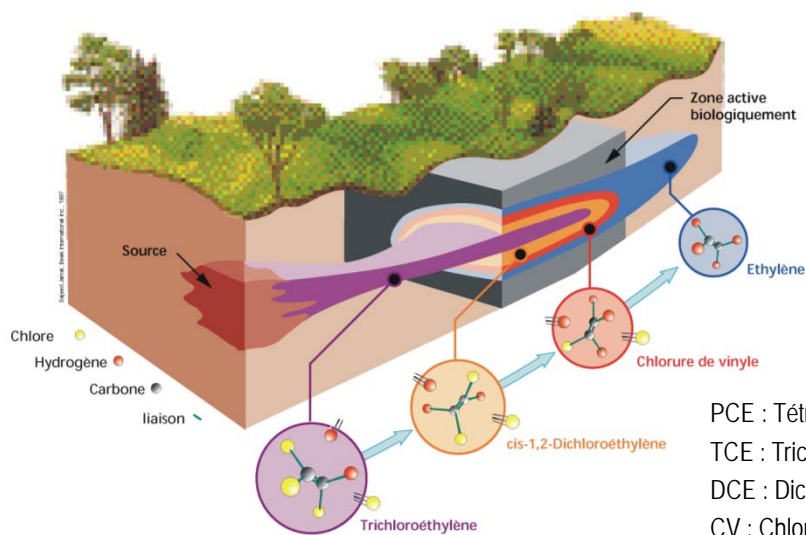
	Objectif 1 ppm			
	Objectif 10 ppm			
	Objectif 100 ppm			
	Panache compris entre 1 et 10 ppm	Panache compris entre 10 et 100 ppm	Panache supérieur à 100 ppm	Total
Masse d'organochlorés [kg]	70 6%	360 29%	820 66%	1'250
Volume de terrain pollué [m3]	6'200 61%	3'250 32%	750 7%	10'200

L'objectif à 1 ppm a été écarté car il aurait impliqué le traitement d'un volume très important pour éliminer de faibles quantités de polluants.

## e. Prévion d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines

- 1<sup>er</sup> objectif de la modélisation : un outil de compréhension des mécanismes de migration
  - Comprendre l'historique de la pollution
  - Estimer / valider les paramètres physiques qui contrôlent la migration des polluants (perméabilité, adsorption, dispersion, cinétique de dégradation, la dynamique de la nappe,...)
- 2<sup>ème</sup> objectif de la modélisation : un outil de prévision et d'aide à la décision
  - Evaluer le devenir de la pollution dans les eaux souterraines pour des projets d'assainissement différents,
  - Sélectionner les dispositifs techniques offrant un rendement d'assainissement optimal

## e. Prédiction d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines



FLMB/PJN/22.9.11

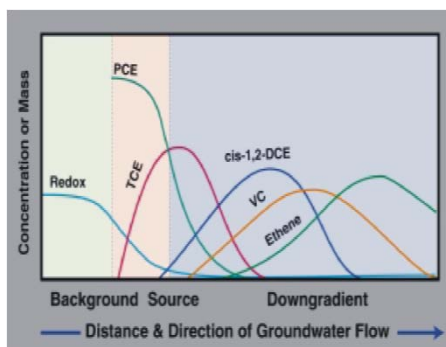
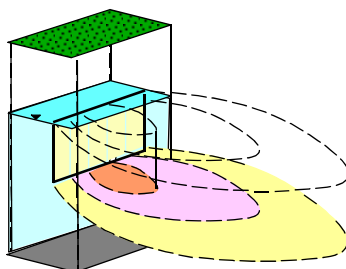
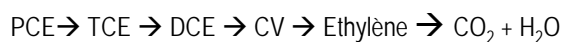
Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

ChloroNet

## e. Prédiction d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines

Le modèle Biochlor 2.2, permet de reconstituer les phénomènes de :

- convection ; la migration est calculée avec la solution analytique Domenico
- dispersion ( $\alpha_l$ ,  $\alpha_t$ ,  $\alpha_v$ ), adsorption linéaire ( $k_d$ )
- biodégradation des solvants chlorés selon la chaîne de dégradation suivante (cinétique du premier ordre) :



FLMB/PJN/22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

ChloroNet

## e. Prédiction d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines

## Les limites du modèle et les incertitudes

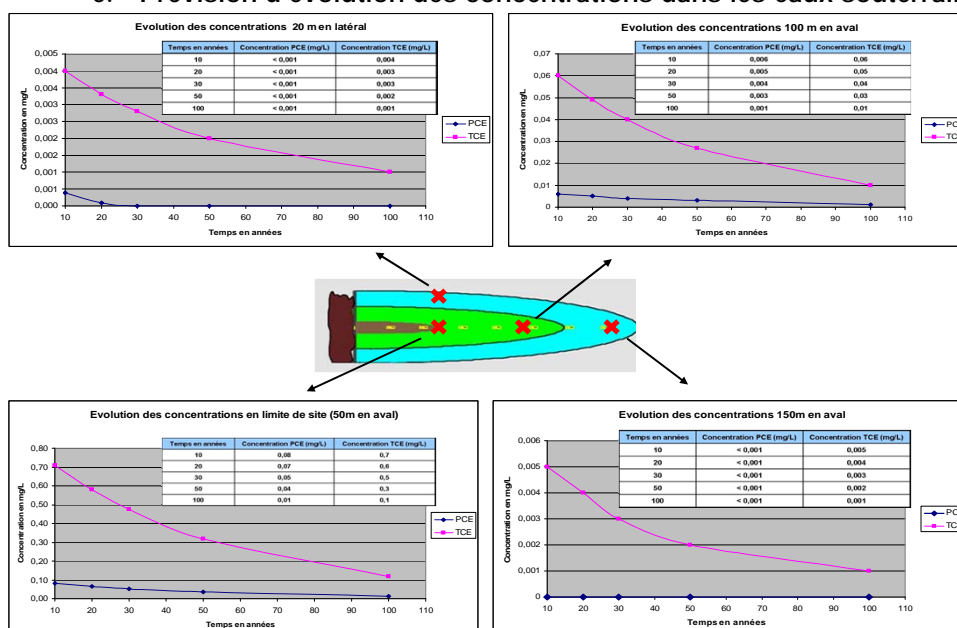
- Principales lacunes de données :
  - l'âge exact de la pollution
  - les masses de polluants déversés
  - l'extension du panache en aval (hors site)
  - l'absence d'un historique des concentrations sur une longue durée
- Incertaines sur les valeurs de la dispersivité, et les cinétiques de biodégradation des solvants chlorés (pas de mesures : évaluation par calage du modèle)
- A noter, les constantes de dégradation choisies pour le DCE et CV sont plus importantes que celles rencontrées dans la littérature

FLMB/PJN22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

## e. Prédiction d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines

Cas après assainissement à objectif 10 ppm



FLMB/PJN22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

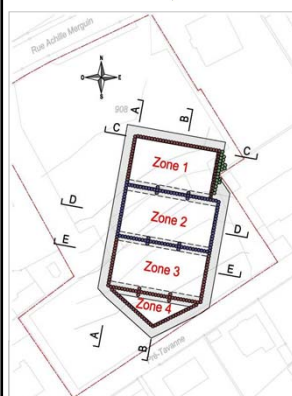


## e. Prédiction d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines

## Conclusions sur la modélisation

1. Bonne représentation de répartition des concentrations dans l'espace
2. « Visualisation » des mécanismes de la migration de la pollution et confirmation que la pollution est peu étendue
3. Les vitesses de migration de la pollution sont extrêmement lentes (de l'ordre de 5 m par an).
4. La biodégradation est intense dès lors où la pollution a quitté la source de contamination, et migre dans les eaux souterraines.
5. Un assainissement selon des objectifs à 10 ppm et 100 ppm n'influencent pas de manière significative l'extension du panache de pollution mais la durée de la pollution.
6. A 150 m en aval du site, les concentrations en solvants chlorés seront proches du bruit de fond de la nappe avec une résorption sur au moins 30 années (les limites OSites pour le TCE et PCE soient atteintes à quelques 150 m en aval du site).

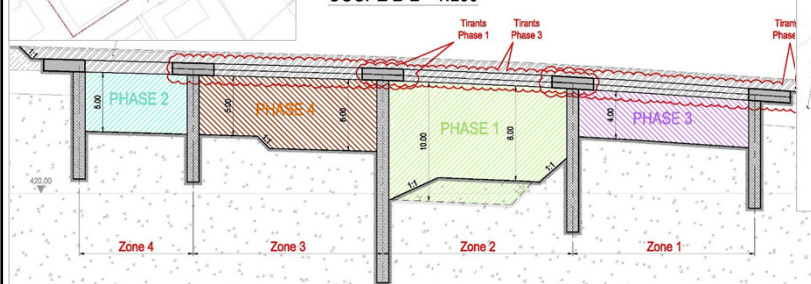
## f. Etude multicritère de deux variantes selon deux objectifs



## Excavation et traitement hors site (objectif 10 ppm)

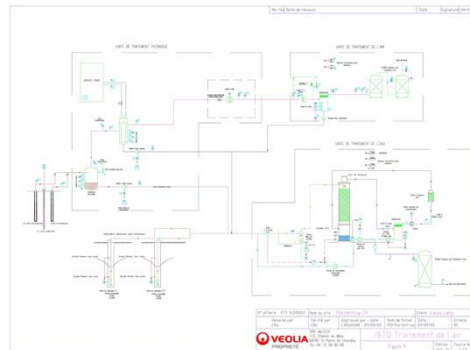
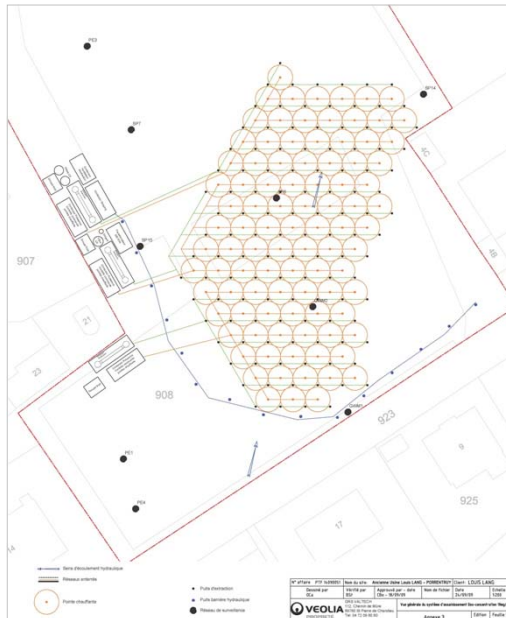
- Quatre cellules, traitées l'une après l'autre
- Soutènement de fouille : paroi de pieux, solidarisés par un sommier béton en tête, stabilisation avec tirants
- Terrassement depuis la surface (4'200 m<sup>3</sup>, 12 m de profondeur), sous tente de confinement
- Traitement hors site
- Durée des travaux : 16 à 20 mois

## COUPE B-B - 1:200





## f. Etude multicritère de deux variantes selon deux objectifs



## Traitement in-situ (objectif 10 ppm)

- Pointes chauffantes qui portent les terrains à environ 100°C en alternance avec des puits d'extraction des gaz
- Barrière hydraulique périphérique
- Traitement sur site des gaz et de l'eau extraite (stripping et charbon actif)
- Durée des travaux : 17 à 20 mois

FLMB/PJN/22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

## f. Etude multicritère de deux variantes selon deux objectifs

Critères techniques		Poids
	Adaptabilité / difficulté	1
	Souplesse	2
	Risques de dommages aux ouvrages hors parcelle	3
	Contraintes liées à la co-activité avec Lidl / durée d'attente pour Lidl	1
	Hygiène et sécurité	10
	Efficacité / contraintes du suivi durant l'assainissement	2
	Durée / Risque de dérapage	1
	Contraintes résiduelles par rapport à l'aménagement futur	2

Critères sociaux & environnementaux		Poids
	Risques médiatiques et recours des tiers	3
	Efficacité de l'assainissement / pollution résiduelle dans les sols	1
	Efficacité de l'assainissement / pollution dans les eaux souterraines aval	10
	Impacts indirects de l'assainissement sur l'environnement	3
	Développement durable (bilan CO <sub>2</sub> équivalent)	3

Critères économique		Poids
	Devis général des travaux	3
	Risques financiers / coûts indirects	3

FLMB/PJN/22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

## f. Etude multicritère de deux variantes selon deux objectifs

	Poids	Note	Variante Excavation 100 ppm		Variante Excavation 10 ppm		Variante In Situ 100 ppm		Variante In Situ 10 ppm	
			Note	Buts	Note	Buts	Note	Buts	Note	Buts
Critères techniques	Adaptabilité / difficulté	1	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	1	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	7	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	7	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
	Souplesse	2	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	8	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	8	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
	Risques de dommages aux ouvrages tiers parcellaire	3	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	1	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Contraintes liées à la co-existence avec l'Uti / durée d'attente pour l'Uti	1	9	Aucune contrainte, chantier d'assainissement extérieur à la construction d'un bâtiment.	3	Aucune contrainte, chantier d'assainissement extérieur à la construction d'un bâtiment.	7	Aucune contrainte, chantier d'assainissement extérieur à la construction d'un bâtiment.	7	Aucune contrainte, chantier d'assainissement extérieur à la construction d'un bâtiment.
	Hygiène et sécurité	10	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	1	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Efficacité / contraintes du site durant l'assainissement	2	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	7	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	6	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	6	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
	Durée / Risque de dérapage	1	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	6	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Contraintes résiduelles par rapport à l'aménagement futur	2	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	1	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Contraintes résiduelles par rapport à l'aménagement futur	2	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	1	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Contraintes résiduelles par rapport à l'aménagement futur	2	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	1	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
Résultats intermédiaires			4.6		2.2		7.6		7.6	
Critères sociaux & environnementaux	Risques médians et recours des tiers	3	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	1	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Efficacité de l'assainissement / pollution résiduelle dans les sols	1	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	7	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	4	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	4	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
	Efficacité de l'assainissement / pollution dans les eaux souterraines	10	6	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	6	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	6	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
	Impacts directs de l'assainissement sur l'environnement	3	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Développement durable (bilan CO <sub>2</sub> équivalent)	3	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	2	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	4	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	4	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
	Risques médians et recours des tiers	3	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	1	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Efficacité de l'assainissement / pollution résiduelle dans les sols	1	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	7	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	4	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	4	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
	Efficacité de l'assainissement / pollution dans les eaux souterraines	10	6	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	6	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	6	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
	Impacts directs de l'assainissement sur l'environnement	3	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Développement durable (bilan CO <sub>2</sub> équivalent)	3	5	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	2	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	4	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.	4	Exigence à se charger de la construction de plusieurs canalisations.
Résultats intermédiaires			6.4		6.2		6.4		6.4	
Critères économiques	Devis général des travaux	3	7	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Risques financiers / coûts indirects	3	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Devis général des travaux	3	7	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Risques financiers / coûts indirects	3	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Devis général des travaux	3	7	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Risques financiers / coûts indirects	3	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Devis général des travaux	3	7	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Risques financiers / coûts indirects	3	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Devis général des travaux	3	7	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	2	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	10	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
	Risques financiers / coûts indirects	3	5	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	4	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.	9	Risques liés à la construction de plusieurs canalisations.
Résultats intermédiaires			6.8		3.8		9.8		7.8	
Résultats			4.5		3.1		7.6		7.6	

FLMB/PJN/22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

## g. Objectifs et méthodes d'assainissement retenus

## Variantes techniques

- Excavation et désorption thermique jugées équivalentes
- Le MO préfère une variante d'assainissement in-situ.

## Variantes d'objectifs

- 10 ppm (~95% de la pollution) : Satisfaisant, mais disproportionné en terme de coûts / bénéfice environnement
- 100 ppm (~70% de la pollution) : Insuffisant en terme de quantité de polluants éliminés

## ➔ Objectif 100 ppm + venting périphérique :

= exploiter les installations de traitement en place et la chaleur résiduelle pour traiter une part supplémentaire de la pollution par venting en périphérie du secteur chauffé (par désorption thermique)

FLMB/PJN/22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

## g. Objectifs et méthodes d'assainissement retenus

## Décision d'assainissement

## Objectifs d'assainissement

- Assainissement foyer pollution (100 ppm) → 1 mg/kg, < 5 mg/kg
- Venting périphérique: rabatement de 90%
- Etablir la diminution des concentrations dans l'eau souterraine dans les 10 années suivant l'assainissement

## Mesures d'assainissement, suivi et délais

- Approbation désorption thermique + venting
- Surveillance installations et procédés, eaux souterraines
- Modalités pour vérifier l'atteinte des objectifs
- Danger résiduel à déterminer selon données obtenues en cours d'assainissement

## Autres conditions et charges

- PHS
- Renvoi à permis de construire

## Permis de construire (autorisation en matière de protection de l'environnement)

- Gestion des eaux
- Air
- Bruit
- Suivi installation

## h. Mode de vérification de l'atteinte de la valeur cible

- Solution 1 : Après assainissement, réalisation de forages et analyses de matériaux.
- Solution 2 : Implantation, avant assainissement, au cœur de la zone traitée, d'échantillons témoins dont on connaît la contamination initiale et qui seront analysés en fin d'assainissement.
- Solution 3 : Corrélation des concentrations gaz / sol, via une expérience en laboratoire.

Expérience consistant à contaminer des échantillons de terrains représentatifs du site à concentrations variables et à analyser ensuite, à la température de désorption, les teneurs dans l'air interstitiel et dans les matériaux, en ambiance contrôlée. Ainsi, une courbe de corrélation pourra être tracée entre les teneurs matériaux et gaz, selon la température du milieu.

- En raison des contraintes de sondages et d'échantillonnages à température élevée, c'est la solution 3 qui a été retenue.

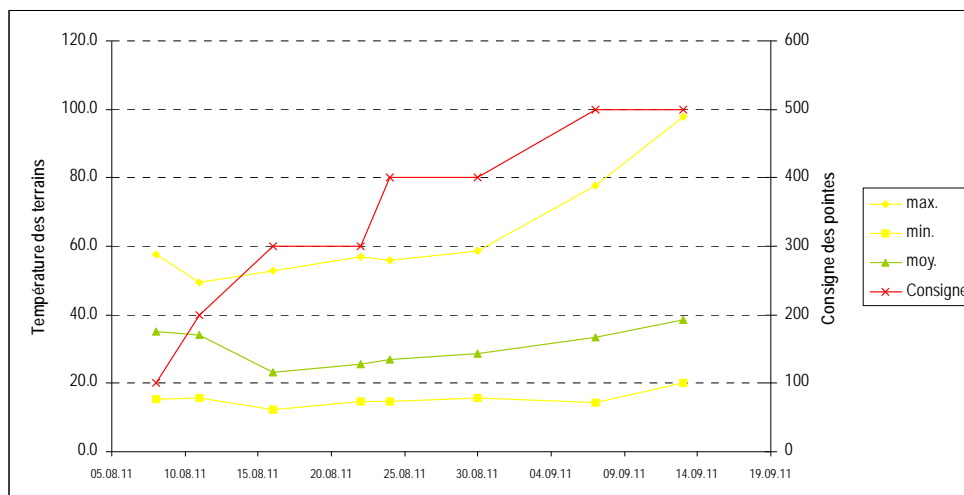
DE CERENVILLE  
GÉOTECHNIQUE

PJN CONSULTING

JURA CH  
RÉPUBLIQUE ET CANTON DU JURA

## Procédé d'assainissement

## Premiers résultats



FLMB/PJN/22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

ChloroNet

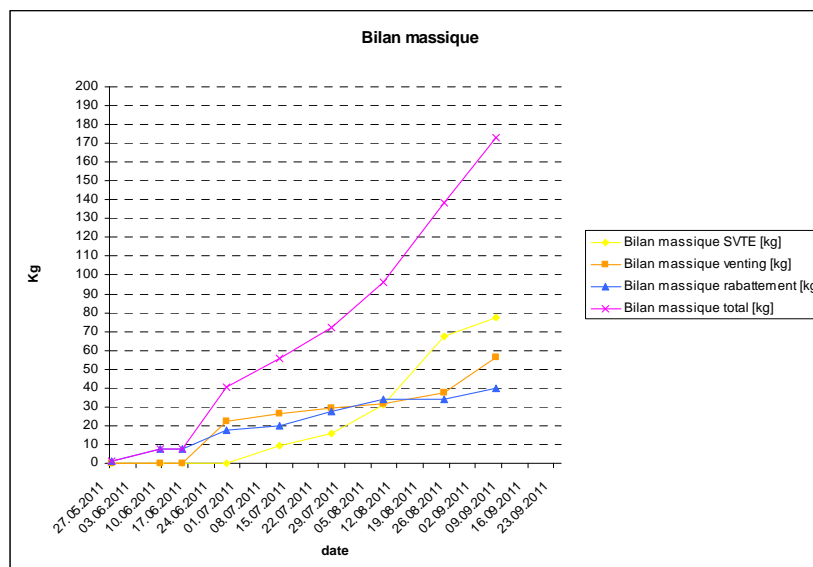
DE CERENVILLE  
GÉOTECHNIQUE

PJN CONSULTING

JURA CH  
RÉPUBLIQUE ET CANTON DU JURA

## Procédé d'assainissement

## Premiers résultats



FLMB/PJN/22.9.11

Quatrième journée technique – 3 novembre 2011

ChloroNet