



Plan de gestion

Site de Lisieux (14)

Juillet 2011

www.erm.com

KNORR-BREMSE

Plan de gestion

Site de Lisieux (14)

Numéro de projet : GMS 0067765 – rapport R1370_v2

Nicholas Sharp
Partner



Corentin Lemonnier
Chef de projet

Thomas Terrien
Consultant

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	1
1.1	CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS	1
1.2	OBJECTIFS	1
1.3	RAPPEL DE LA METHODOLOGIE ET DU CONTEXTE REGLEMENTAIRE	2
1.4	ORGANISATION DU RAPPORT	3
1.5	LIMITES DE L'ETUDE	4
2	RAPPEL DU CONTEXTE DU SITE	5
2.1	CONTEXTE GENERAL	5
2.2	CONTEXTE REGLEMENTAIRE	6
2.3	CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	6
2.4	SYNTHESE SUR LA VULNERABILITE ENVIRONNEMENTALE	8
3	SYNTHESE DES INVESTIGATIONS REALISEES	10
3.1	MILIEU EAUX SOUTERRAINES - SYNTHESE DES OBSERVATIONS ET DES RESULTATS - DECEMBRE 1999 A MARS 2011	10
3.2	MILIEU SOLS	11
3.3	MILIEU GAZ DU SOL	12
3.4	MILIEU AIR AMBIANT	12
3.5	SYNTHESE DU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	13
4	SCHEMA CONCEPTUEL	15
4.1	PRINCIPE	15
4.2	SOURCES DE POLLUTION	15
4.3	IDENTIFICATION DES VOIES DE TRANSFERT	16
4.4	IDENTIFICATION DES CIBLES ET DES VOIES D'EXPOSITION ASSOCIEES	16
4.5	SYNTHESE : SCENARIOS D'EXPOSITION RETENUS	17

5	MESURES DE GESTION ENVISAGEABLES - BILAN COUTS/AVANTAGES	18
5.1	<i>PRINCIPES</i>	18
5.2	<i>HYPOTHESES RETENUES</i>	18
5.3	<i>MESURES DE GESTION ENVISAGEABLES</i>	19
5.4	<i>TRAITEMENT IN-SITU</i>	27
5.5	<i>TRAITEMENT EX-SITU</i>	28
6	STRATEGIE DE REHABILITATION RETENUE ET MESURES DE GESTION - SOLUTION MIXTE : IN-SITU / EX-SITU	31
6.1	<i>MESURES DE GESTION ET COUTS ESTIMES</i>	31
6.2	<i>ESTIMATION DES COUTS</i>	32
6.3	<i>RAISONS DE LA SELECTION</i>	32
6.4	<i>CONTROLE DE L'EFFICACITE DES MESURES DE GESTION PROPOSEES</i>	33
6.5	<i>SYNTHESE DES MESURES DE GESTION</i>	33
6.6	<i>SERVITUDES ET RESTRICTIONS D'USAGE</i>	34
7	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	36
7.1	<i>RAPPEL DU CONTEXTE</i>	36
7.2	<i>STRATEGIE GENERALE DE GESTION DU SITE</i>	36

FIGURES ET ANNEXES

FIGURES

Figure 1	Localisation du site
Figure 2	Localisation des activités historiques et actuelles principales
Figure 3	Contexte géologique régional
Figure 4	Localisation des piézomètres, des points de prélèvements d'air ambiant et des points de prélèvement de gaz du sol
Figure 5	Localisation des points de sondages sols
Figure 6	Evolution du niveau statique de la nappe - décembre 1999 à mars 2011
Figure 7	Schéma conceptuel du site mis à jour

TABLEAUX

Tableaux 1A à 1Q	Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011
Tableau 2A à 2D	Résultats des analyses de l'air ambiant - juin à mars 2011

ANNEXES

Annexe 1	Rapports Technosol
----------	--------------------

TABLEAU DES ACRONYMES

Réglementaire

Abréviation	Nom complet
AEP	Alimentation en Eau Potable
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
VCI	Valeur de Constat d'Impact
IEM	Interprétation de l'Etat des Milieux
PG	Plan de Gestion
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
VTR	Valeurs Toxicologiques de Référence
QD	Quotient de Danger
ERI	Excès de Risque Individuel

Chimie

Abréviation	Nom complet
Composés Organiques	
COHV	Composés Organiques Halogénés Volatiles
HCT	Hydrocarbures Totaux (hydrocarbures linéaires, huile minérale)
PCE	Perchloroéthylène (ou tétrachloroéthylène)
TCE	Trichloroéthylène
DCE	Cis-1,2-dichloroéthylène
DCA	1,1-Dichloroéthane
CV	Chlorure de Vinyle

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS

Knorr-Bremse a été exploitant d'un site localisé au 31, rue Ferdinand Daulne à Lisieux (14).

Suite aux investigations réalisées en 1998/99 mettant en évidence des teneurs élevées en trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, cis-1,2-dichloroéthylène et chlorure de vinyle dans la nappe au droit de l'ancien atelier de traitement de surface du site *Knorr-Bremse.*, un suivi semestriel de la qualité des eaux souterraines au droit du site est réalisé depuis 2000 (demande de l'arrêté préfectoral en date du 21 novembre 2000. Ce suivi des Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV) porte sur six piézomètres implantés sur le site.

A la demande de la DREAL¹ (courrier daté du 12 février 2010), ERM a remis un bilan de la surveillance de la nappe exercée depuis 2000 sur le site de Lisieux ainsi qu'une actualisation du schéma conceptuel (rapport R1281 de mars 2010).

Suite aux différents échanges entre la DREAL et *Knorr-Bremse* (note annexe transmise le 8 avril 2010 et compte-rendu de la réunion de mai 2010), il a été décidé de :

- Réaliser deux campagnes d'analyse de l'air ambiant au droit de l'ouvrage piézométrique présentant les concentrations les plus élevées (PZ4), et de son environnement ;
- Elaborer un plan de gestion incluant un bilan coûts/avantages des différentes techniques de dépollution envisagées.

Le présent rapport fait la synthèse de l'ensemble de ces investigations et décrit le plan de gestion proposé.

1.2 OBJECTIFS

Les principaux objectifs de ce rapport sont les suivants :

- Présenter une synthèse des données acquises sur les différents milieux d'exposition identifiés au droit du site (eaux souterraines, air ambiant) ;
- Déterminer si la présence des COHV mis en évidence peut conduire à un risque sanitaire potentiel pour différentes cibles identifiées :
 - actuels travailleurs sur site ;
 - rivière La Touques ;

¹ Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

- nappe de la Craie Cénomaniennne.
- Définir, le cas échéant, les mesures de gestion à mettre en œuvre, par l'intermédiaire d'un bilan coûts/avantages, en fonction de l'état de contamination de la nappe et des risques sanitaires potentiels identifiés.

1.3

RAPPEL DE LA METHODOLOGIE ETDU CONTEXTE REGLEMENTAIRE

L'appréciation de l'impact sanitaire d'une installation industrielle en activité implique la connaissance de la qualité de l'environnement au voisinage de cette installation.

Cela nécessite la caractérisation de la contamination potentielle des différents compartiments environnementaux (sol, eau, air, végétaux, etc.) susceptibles d'entraîner une exposition de la population humaine aux polluants.

Cette étape est primordiale et préconisée par les différents guides en vigueur relatifs aux évaluations de risques. Elle s'intègre dans la phase de diagnostic de l'environnement de l'installation considérée.

Ces instructions sont rassemblées dans quatre circulaires adressées aux Préfets, en date du 8 février 2007.

Les règles de cadrage suivantes ont été fixées :

- Rechercher et traiter les sources de pollution ;
- Se baser sur la gestion sanitaire en place pour l'ensemble de la population française pour apprécier les risques ;
- Gérer en prenant en compte le bilan environnemental global ;
- Justifier les choix techniques retenus sur des critères explicites, argumentés et transparents.

Deux démarches sont envisagées :

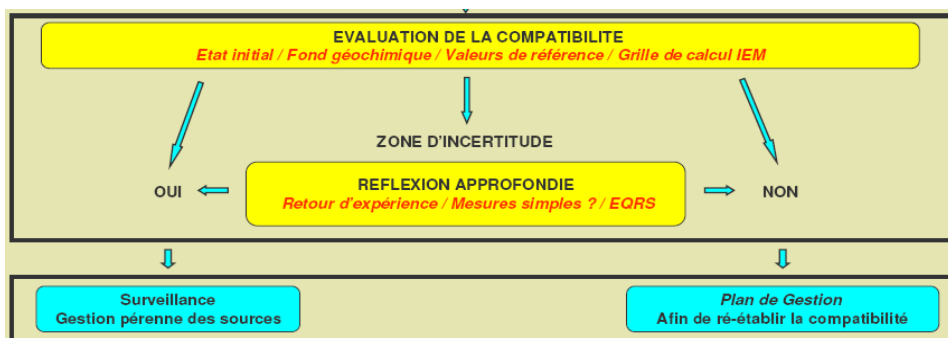
- **L'interprétation de l'état des milieux (IEM)** : pour s'assurer qu'un site est compatible avec un usage effectif ou déjà fixé. L'IEM peut être prescrite :
 - après la découverte d'une pollution ;
 - en cas d'alerte sanitaire ;
 - aux ICPE en activité, mais pas sur l'emprise du site en exploitation (relève du Code du Travail).
- **Le plan de gestion (PG)** : quand il est encore possible d'agir sur l'état du site ou sur son usage. Le PG peut être prescrit :
 - quand une ICPE est mise à l'arrêt définitif et libère des terrains pouvant être affectés à un nouvel usage ;
 - sur l'environnement d'une ICPE quand l'IEM a conclu sur la nécessité d'un PG ;
 - en cas de réhabilitation d'anciens terrains industriels.

L'IEM et le PG s'appuient sur la réalisation d'un schéma conceptuel (type source-vecteur-cible), élaboré au regard des usages du site constatés (IEM) ou prévus (PG). Il comprend des recherches historiques, réglementaires, des enquêtes de terrain et des campagnes de mesure.

PG :

Le PG vise d'abord à la suppression des sources de contamination, et en second lieu à la maîtrise des voies d'exposition. L'arbitrage entre les différentes solutions possibles doit se faire au regard du bilan coûts-avantages le plus favorable.

Si le PG ne permet pas d'éliminer toutes les sources de contamination, alors les risques sanitaires résiduels doivent être évalués par une Analyse des Risques Résiduels (ARR), qui est une évaluation quantitative des risques sanitaires.



Enfin, les mesures prévues par le PG doivent être contrôlées au fur et à mesure de leur avancement par un organisme indépendant de celui qui réalise les travaux.

Lorsque des mesures de surveillance sont proposées, notamment sur les eaux souterraines, il est recommandé de procéder à un bilan tous les 4 ans de façon à évaluer l'adéquation de la surveillance environnementale. Cette dernière pourra si nécessaire être revue au cours de la cinquième année.

1.4

ORGANISATION DU RAPPORT

Ce rapport d'investigations est organisé de la manière suivante :

- Section 1* *Introduction* – présente une synthèse du contexte général du site et les limites de l'étude ;
- Section 2* *Contexte du site* – présente une synthèse des conditions spécifiques au site de *Knorr-Bremse* (contextes historique, environnemental et réglementaire) ;
- Section 3* *Synthèse des investigations et résultats* - synthèse des investigations réalisées depuis 2000 et évaluation de la compatibilité avec les milieux environnants ;

- Section 4* *Schéma conceptuel* – Il permet de caractériser et de définir les relations entre les sources de pollution, les milieux de transfert et les enjeux à protéger ;
- Section 5* *Bilan coûts/avantages* – décrit le Bilan Coûts-Avantages des techniques de dépollution disponibles et l'efficacité attendue de différentes approches de gestion disponibles ;
- Section 6* *Stratégie de réhabilitation* – propose une stratégie de réhabilitation du site et inclut la description des techniques retenues ainsi que les programmes de suivi associés ;
- Section 7* *Conclusions et recommandations.*

1.5 *LIMITES DE L'ETUDE*

L'ensemble des investigations mises en œuvre au droit du site ont été réalisées dans les règles de l'art, conformément à la méthodologie en matière de sites et sols pollués ("*Gestion des sites pollués*", *Guide méthodologique du Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Edition BRGM, Version 2, Mars 2000*) et à la nouvelle circulaire ministérielle datant du 8 février 2007.

Ce rapport s'appuie sur l'application de principes scientifiques et de jugements professionnels entraînant des interprétations subjectives. Les opinions professionnelles exprimées dans ce rapport se fondent sur les éléments actuellement disponibles dans la limite des informations existantes, de l'objet de l'étude, du budget et du calendrier.

ERM France n'est engagé ni dans l'audit environnemental ni dans la publicité, la promotion ou l'appui des intérêts d'un client y compris la collecte de fonds, le conseil en matière d'investissement ou toute autre fin publicitaire. Le client reconnaît que ce rapport a été préparé pour son usage exclusif et il accepte de ne pas utiliser, reproduire tout ou partie des rapports ou des correspondances d'ERM France, ainsi que d'utiliser ou de se baser sur ledit rapport dans aucun prospectus ou circulaire. Le client accepte aussi qu'aucune de ses publicités, offres promotionnelles ou autres publicités contenant des informations obtenues par le biais de ce rapport ne mentionnent ou ne sous-entendent le nom d'ERM France.

2 **RAPPEL DU CONTEXTE DU SITE**

2.1 **CONTEXTE GENERAL**

2.1.1 **Localisation et topographie**

Le site est implanté au 31, rue Ferdinand Daulne au nord-est du centre de Lisieux (14). Le plan de localisation du site est présenté en **Figure 1**.

Les environs du site peuvent être décrits comme suit :

- A l'ouest, adjacente au site, la rivière la Touques coule en direction du nord. La rive opposée (ouest) de la Touques est aménagée en zone résidentielle ;
- Au nord, adjacent du site se trouve un concessionnaire automobile. Au-delà, à environ 200 mètres, sur la rive opposée de la Touques, sont implantés un stade et des équipements sportifs ;
- A l'est, la rue du Général Leclerc longe le site. De l'autre côté de cette rue, se trouve une zone artisanale puis une voie ferrée ;
- Au sud, s'étend une zone résidentielle.

Les plus proches habitations sont situées directement en bordure sud du site et sur l'autre rive de la Touques, à environ 50 m à l'ouest du site.

2.1.2 **Rappel historique**

A l'époque où le site appartenait à *Knorr-Bremse*, l'activité était la fabrication de matériel de freinage (compresseurs et valves) destiné à l'équipement des poids lourds. Les opérations étaient les suivantes (cf. localisation des activités principales sur la **Figure 2**) :

- L'usinage des pièces brutes (alésage, perçage, tournage, taraudage, rodage, rectification) ;
- Le dégraissage de ces pièces dans des machines fonctionnant avec des solvants chlorés, puis des bains lessiviels ;
- L'assemblage des compresseurs et leur vérification sur des bancs d'essai par injection d'huile chauffée à 90°C ;
- Le montage des valves et leur vérification sur des bancs d'essai (à l'air).

Un bief était également présent sur site (à l'ouest du bâtiment n°2) et faisait le lien entre deux endroits de la rivière, en amont et en aval du site (cf. *Figure 2*). Ce bief n'existe plus à l'heure actuelle et a été remblayé en 1973.

Le site est actuellement occupé par la société Rivière SARL qui y exerce des activités de tôlerie et métallerie industrielle.

2.2 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

Le programme de suivi de la nappe alluviale, demandé par l'arrêté préfectoral en date du 21 novembre 2000 est rappelé ci-après :

- La surveillance semestrielle (hautes et basses eaux) des hydrocarbures totaux (HCT) sur l'ensemble des six (6) piézomètres présents sur site (Pz1 à Pz6) ;
- La surveillance semestrielle (hautes et basses eaux), sur l'ensemble des six (6) piézomètres présents sur site des COHV (Composés Organiques Halogénés Volatils) incluant au minimum les composés suivants :
 - 1,1,1-Trichloroéthane (TCA) ;
 - Perchloroéthylène (PCE) ;
 - Trichloroéthylène (TCE) ;
 - Cis-1,2-Dichloroéthylène (DCE).

Ces composés avaient été identifiés lors des différents diagnostics réalisés par la société *GESTER* en 1998 et 1999 et par *ERM France* en décembre 1999 pour l'établissement du mémoire de cessation d'activité du site (*rapport ERM n°1302-octobre 2000*).

Suite à la campagne de juin 2006, la DREAL a demandé l'ajout du chlorure de vinyle à la liste des composés analysés pour le piézomètre Pz3.

2.3 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

2.3.1 Contexte géologique

La géologie sur le site peut être résumée comme suit, de la surface vers la profondeur (données BRGM²) :

- Les dépôts de pentes dont la provenance est diverse : argiles à silex, limons colluviaux, lentilles de sables de l'Albien. Ces dépôts peuvent atteindre jusqu'à 10 m d'épaisseur par endroits et sont le siège de circulations aquifères provenant des nappes Cénomaniennes, Albienne et Oxfordienne ;
- Les alluvions modernes datant du Quaternaire recouvrent l'ensemble de la zone d'étude. L'épaisseur de cette couche est estimée à environ 5 m au droit du site. Cette formation possède une perméabilité faible à moyenne ;
- Les alluvions anciennes datant également du Quaternaire, constituées de galets et cailloutis dans une matrice argileuse verdâtre. Leur épaisseur est d'environ 3 m au droit du site. Cette formation possède une perméabilité faible à moyenne ;

² Bureau de Recherches Géologiques et Minières

- La craie du Cénomanién datant du Crétacé supérieur consiste en des craies à silex, avec des niveaux de glauconie à la base. L'épaisseur de cette formation varie entre 35 et 40 m. Sa perméabilité est considérée comme forte sauf pour les niveaux inférieurs ;
- La formation glauconieuse datant de l'Albien supérieur. Elle consiste en un sable argileux vert foncé entrecoupé parfois de niveaux d'argiles vertes. Cette formation peut atteindre 15 m d'épaisseur par endroit et sa perméabilité est considérée comme faible ;
- La formation de l'Albien qui se compose de deux sous-formations : les argiles de Gault, argiles micacées et glauconieuses de l'Albien supérieur et les sables quartzeux de l'Albien inférieur. L'ensemble de cette série peut atteindre 16 m d'épaisseur dans la région de Lisieux. Sa perméabilité est considérée comme faible pour les argiles de Gault et forte pour les sables quartzeux ;
- Les sables de Glos datant de l'Oxfordien supérieur. L'épaisseur moyenne de cette formation est estimée à 25 m et sa perméabilité est considérée comme forte ;
- Les calcaires de l'Oxfordien coralligène, qui consistent en un ensemble de couches calcaires, dont les calcaires oolithique-détritiques inférieurs dans la région de Lisieux. L'épaisseur de cette formation est d'environ 20 m et sa perméabilité est considérée comme forte.

Le contexte géologique régional du site *Knorr-Bremse* est présenté sur la **Figure 3**.

2.3.2 *Contexte hydrogéologique*

Au droit du site, le premier aquifère rencontré est la nappe alluviale de la Touques à une profondeur moyenne de 3 m. La nappe alluviale ne fait l'objet d'aucune utilisation sensible dans un rayon de 5 km autour du site.

Le deuxième aquifère rencontré est celui de la craie du Cénomanién dont le substratum est constitué par le niveau imperméable de la glauconie de base.

L'absence de cibles sensibles de type captages AEP³ captant la nappe du Cénomanién en aval du site dans un rayon de 3 km a été confirmée par la mise à jour des captages après sollicitation de la DTARS⁴. Un puits utilisé pour l'AEP est identifié en rive opposée de la Touques, à 3,5 km de l'ancien site Knorr-Bremse. Sa profondeur et son équipement sont inconnus. Une demande d'actualisation des données sur les captages dans la zone d'étude a été lancée auprès de la DTARS.

Deux nappes sous-jacentes sont également situées respectivement dans les formations de l'Albien inférieur et de l'Oxfordien.

³ Alimentation en Eau Potable

⁴ Délégation Territoriale de l'Agence Régionale de Santé

Au droit du site, le niveau de la nappe est systématiquement relevé à chaque intervention sur les piézomètres existant ainsi que celui de la Touques (à partir du pont l'enjambant). Les mesures montrent que la nappe superficielle s'écoule globalement vers le nord, dans le sens d'écoulement de la rivière la Touques, qui jouxte le site à l'ouest et le contourne au nord, et qui s'écoule du sud vers le nord. Les écoulements le long de la Touques (bordure ouest du site) sont infléchis vers l'ouest et montrent un drainage par la Touques. En partie est du site, les lignes piézométriques indiquent une direction d'écoulement orientée vers le nord-nord-est.

2.3.3 *Contexte hydrologique*

Le cours d'eau le plus proche du site est le fleuve côtier La Touques qui jouxte le côté ouest du site. Son écoulement est globalement en direction du nord, c'est-à-dire vers la Manche dans laquelle elle se jette. Son débit moyen interannuel a été estimé par la DDEA⁵ du Calvados à 5,6 m³/s à Lisieux.

D'après les données relatives au bassin versant de la Touques obtenues auprès de l'agence de l'eau Seine-Normandie, les eaux du fleuve côtier présentent une bonne qualité générale. De plus, une importante activité de pêche, notamment de truites de mer, est pratiquée sur la Touques (cours d'eau de première catégorie).

2.3.4 *Espaces et ressources naturels à protéger*

A l'échelle européenne, le réseau « zones spéciales de conservation », baptisé « **Natura 2000** », a pour objectif de promouvoir une gestion adaptée des habitats naturels, de la faune et de la flore sauvage tout en respectant les exigences économiques, sociales et culturelles. La protection des zones particulièrement intéressantes sur le plan écologique est assurée par un zonage national constituant les **ZNIEFF**⁶ et les **ZICO**⁷. Sans imposer de contraintes réglementaires particulières, ces zones constituent des espaces naturels exceptionnels ou représentatifs à protéger.

La présence de ces espaces naturels devra engendrer d'éventuelles mesures de gestion appropriées pour respecter les exigences en vigueur.

La vallée de la Touques, en bordure ouest du site KNORR-BREMSE, est classée comme ZNIEFF de types 1 et 2, la rivière étant classée comme l'une des meilleures rivières à salmonidés de France.

2.4 *SYNTHESE SUR LA VULNERABILITE ENVIRONNEMENTALE*

Cette partie s'attache principalement à décrire la vulnérabilité et la sensibilité des milieux environnementaux, et concerne essentiellement l'aspect hydrogéologique (eaux souterraines) et hydrologique (fleuve côtier).

⁵ Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture

⁶ ZNIEFF : Zone National d'Intérêt Faunistique et Floristique

⁷ ZICO : Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux

La vulnérabilité hydrologique peut être considérée comme forte en raison de la proximité du fleuve côtier La Touques par rapport au site. Au vu de la bonne qualité de ses eaux et de la pratique d'une importante activité de pêche dans ses eaux, **sa sensibilité est élevée.**

La vulnérabilité hydrogéologique de la nappe alluviale de la Touques peut être considérée comme forte du fait de sa faible profondeur et de l'absence de couche imperméable en surface. **Sa sensibilité hydrogéologique peut être considérée comme modérée** car cet aquifère n'est pas utilisé pour des usages sensibles aux alentours du site. Elle peut toutefois constituer un vecteur de transfert d'une éventuelle pollution vers la Touques.

La vulnérabilité hydrogéologique de la nappe de la Craie cénomaniennne peut être considérée comme modérée du fait de sa profondeur relativement élevée et de la présence de niveaux peu perméables sus-jacents. **Sa sensibilité hydrogéologique peut être considérée comme modérée** cet aquifère n'est pas utilisé pour des usages sensibles aux alentours du site.

Les éléments présentés ci-après sont issus des rapports ERM suivants :

- R1281 « GMS 0067765– Rapport de bilan de la surveillance de la qualité des eaux souterraines » de mars 2010 ;
- R1371 « GMS0067765 - Suivi de la qualité des eaux souterraines - Campagne de juin 2010 » de juillet 2010.
- R1514 « GMS0067765 - Suivi de la qualité des eaux souterraines - Campagne de décembre 2010 » de janvier 2011.
- R1538 « GMS0067765 - Synthèse de la qualité de l'air ambiant - Données 2010 » de février 2011.
- R1580 « GMS0067765 – Investigations complémentaires - février 2011 » de mars 2011.
- R1625 « GMS0067765 - Suivi de la qualité des eaux souterraines et de l'air ambiant, Campagne de mars 2011» d'avril 2011.

3.1 *MILIEU EAUX SOUTERRAINES - SYNTHESE DES OBSERVATIONS ET DES RESULTATS - DECEMBRE 1999 A MARS 2011*

Un plan de localisation des piézomètres implantés sur le site est présenté en **Figure 4**. L'ensemble des concentrations relevées au cours des différentes campagnes de suivi (depuis décembre 1999) est présenté dans les **Tableaux 1A à 1Q**.

Six piézomètres (PZ1 à PZ6) ont été installés sur le site depuis 1999 et captent la nappe alluviale, située à une profondeur d'environ 2,5-3 m sous la surface du sol. A l'initiative de Knorr-Bremse, de manière à connaître la direction des écoulements en partie est du site et l'éventuelle migration dans cette direction, deux piézomètres complémentaires (Pz7 et Pz8) ont été installés en décembre 2010. Ces deux ouvrages sont régulièrement prélevés.

Les résultats d'analyses montrent un impact sur les eaux souterraines au droit du site par les COHV. L'impact est principalement situé au droit du piézomètre Pz4, où les paramètres Perchloroéthylène (PCE), Trichloroéthylène (TCE), cis 1,2-Dichloroéthylène (cis 1,2-DCE), 1,1-Dichloroéthylène (1,1-DCE), 1,1-Dichloroéthane (1,1-DCA) et chlorure de vinyle (CV) sont détectés à des teneurs supérieures aux valeurs de comparaison. On observe une tendance à la diminution générale des concentrations en PCE depuis juin 2008, associée à une remontée générale des concentrations en molécules filles⁸ (TCE, cis-1,2-DCE et CV) depuis la campagne de décembre 2009.

⁸ Le PCE se dégrade « classiquement » selon une chaîne de dégradation conduisant à la perte d'un atome de chlore. Les produits de dégradation sont donc successivement le TCE, le cis-1,2-DCE, le chlorure de vinyle puis l'éthène (ainsi que du chlore).

Ces données confirment l'existence d'un processus de dégradation du PCE au niveau de la zone source située à proximité du Pz4.

Le piézomètre Pz1, en position latérale hydraulique du piézomètre Pz4 ne montre aucun impact par les composés recherchés.

Le piézomètre Pz2 implanté en position latérale hydraulique de Pz4 est impacté uniquement par du CV (concentrations au dessus des valeurs de comparaison). La campagne de juin 2011 ne montre pas d'impact significatif par le PCE ou le TCE (somme des deux composés inférieure à la valeur de comparaison de 10 µg/L).

Le piézomètre Pz3 situé en aval hydraulique de Pz4 présente un dépassement pour le chlorure de vinyle, et dans une moindre mesure par le 1,1-DCA.

Le piézomètre Pz7 implanté en décembre 2010 en limite est du site montre des concentrations supérieures aux valeurs de comparaison pour trois substances (TCE, PCE et cis 1,2-DCE) mais dans des ordres de grandeur nettement moindres que sur Pz4 (teneurs au moins 10 à 20 fois plus faibles).

Le piézomètre Pz8, implanté en décembre 2010 à l'est du site, présente des dépassements des valeurs de comparaison pour le CV et le cis-1,2-DCE.

3.2

MILIEU SOLS

Afin de caractériser plus finement l'étendue des impacts au droit du site, une campagne de sondages de sols a été menée en février 2011 (cf. rapport ERM R1580). Il a ainsi été initialement prévu de réaliser 20 sondages de sol à un mètre de profondeur au droit des bâtiments B2, B3, B15 et à l'est du bâtiment B3. Suite à l'analyse des mesures au PID⁹ réalisées in situ, 3 sondages complémentaires (2 dans le bâtiment B2 et 1 dans le bâtiment B15) ont été réalisés afin de délimiter précisément les zones impactées. Un échantillon de sol a été prélevé sur chacun des 23 sondages.

Toujours à l'aide des mesures au PID, 6 points plus impactés ont été identifiés et équipés en piézairs (dispositif équivalent à un piézomètre permettant de prélever les gaz des sols). Un échantillon de gaz du sol a ensuite été prélevé sur chaque piézair.

Une fois les échantillons de sol et de gaz du sol analysés en laboratoire, 6 carottages à 5 mètres ont été réalisés dans les zones les plus impactées. Sur chacun de ces sondages, 3 échantillons de sol ont été prélevés.

La **Figure 5** permet de localiser les points de sondages réalisés sur le site.

Les investigations réalisées ont permis de confirmer la présence d'une source sol au niveau du bâtiment 3 dans la zone du Pz4, S8 et SB1 (teneur de 354 mg/kg en PCE en ce point). Cette zone a été délimitée horizontalement et est relativement restreinte (voir l'estimation de la délimitation sur la **Figure 5**).

⁹ Photo Ionisation Detector

Verticalement, les mesures PID et analyses sols réalisées en SB1 montrent une décroissance des valeurs avec la profondeur.

Des zones ponctuelles où les COHV ont été détectés à des valeurs de l'ordre du mg/kg ont été identifiées ponctuellement au droit du bâtiment 2 (au niveau des sondages S20, S22, S23) et du nord du bâtiment 3 (sondages S12, S13, S16).

Des valeurs de l'ordre de quelques dixièmes de mg/kg ont aussi été détectées ponctuellement sur le site.

3.3 *MILIEU GAZ DU SOL*

En février 2011, suite à la mise en place de six piézairs, une campagne d'analyse des gaz du sol a été réalisée sur ces ouvrages. La **Figure 4** permet de localiser ces points de prélèvements. Les résultats d'analyse des gaz du sol sont présentés dans le rapport ERM R1580 de mars 2011.

Un impact en PCE a été identifié sur différents piézairs. Les concentrations les plus importantes ont été observées sur les piézairs S22 (bâtiment 2) et S8 (bâtiment 3). Des impacts ont aussi mis en évidence sur les piézairs S4 (bâtiment 3), S16 (bâtiment 15) et S20 (bâtiment 2). Les concentrations relevées en S3 (bâtiment 3) sont beaucoup plus faibles (d'un facteur 10 à 40).

Du TCE a également été retrouvé dans les piézairs S22 et S20 (bâtiment 2). Les piézairs S3, S4, S8 (bâtiment 3) et S16 (bâtiment 15) présentent des concentrations moindres.

Les piézairs S22 (bâtiment 2) et S4 (bâtiment 3) présentent un léger impact en DCE.

Seul le piézair S16 (bâtiment 15) présente des traces de chlorure de vinyle.

3.4 *MILIEU AIR AMBIANT*

La mise en place de prélèvements d'air ambiant a permis d'évaluer les phénomènes de volatilisation des composés à l'intérieur des bâtiments industriels et l'exposition des travailleurs de la société Rivière SARL (société occupant le site à ce jour).

Le bâtiment 3 est actuellement utilisé pour une activité de découpe et de soudure de pièces métalliques.

Un plan de localisation des différentes activités, historiques et actuelles, exercées au droit de la zone de prélèvements d'air ambiant est présenté en **Figure 2**.

Quatre campagnes de mesures de la qualité de l'air ambiant ont été réalisées entre juin 2010 et mars 2011. Les campagnes comprennent la réalisation de 4 points de prélèvement depuis août 2010 (dont un témoin, cf. rapport ERM R1625). La **Figure 4** permet de localiser les points de prélèvements.

L'évaluation de la qualité de l'air ambiant au droit des bâtiments 3, 2 et 16 montre la présence de certains COHV tels que ceux rencontrés dans les eaux souterraines dans le cadre du suivi semestriel de la qualité de la nappe, à savoir (résultats de la campagne de mars 2011) :

- Dans le bâtiment 3 (zone la plus impactée au niveau de la nappe, piézomètre Pz4, prélèvements Pair 1 et Pair 2), le perchloroéthylène (PCE) présente des concentrations comprises entre 6,6 et 7,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces concentrations, inférieures à la VLEP¹⁰, sont inférieures à celles de la campagne précédente (décembre 2010) et comprises dans la fourchette de valeurs détectées en 2010 ;
- Dans le bâtiment 2 (situé à l'ouest) : le PCE et le TCE sont détectés (valeurs respectives de 15 et 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), à des teneurs inférieures à la VLEP ;
- Point témoin (bâtiment 16) : le PCE est détecté à une teneur de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Pair4, point témoin sans qu'aucune observation ou mesure PID ne puisse expliquer cette détection. Ce composé n'avait pas été détecté en ce point lors des campagnes d'août et décembre 2010¹¹.

Les autres produits de dégradation des solvants chlorés tel que le chlorure de vinyle n'ont pas été détectés au cours de cette campagne de prélèvement.

3.5

SYNTHESE DU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

Les investigations réalisées ont permis de confirmer la présence d'une source sol en COHV (PCE principalement et molécules de dégradation ; TCE et cis-1,2-DCE majoritairement) au niveau du bâtiment 3 (zone du Pz4) où des activités de dégraissage ont eu lieu par le passé. Cet impact sur les sols conduit à un impact par les mêmes produits (le chlorure de vinyle étant aussi détecté) dans la nappe superficielle (située vers 2,5-3 m de profondeur). L'écoulement de la nappe étant à la fois drainé par la Touques (vers l'ouest) et orienté vers l'est sur la bordure est, une migration de ces produits dans ces directions est observée.

¹⁰ Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

¹¹ Une campagne a été réalisée en juin 2011 montrant une détection de 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PCE, plus faible.

Des zones ponctuelles où les COHV ont été détectées à des valeurs de l'ordre du mg/kg ont été identifiées au droit du bâtiment 2 (au niveau des sondages S20, S22, S23) et du nord du bâtiment 3 (sondages S12, S13, S16). Des valeurs de l'ordre de quelques dixièmes de mg/kg ont aussi été détectées ponctuellement sur le site. Des observations similaires sont réalisées pour les gaz des sols.

Le PCE est détecté dans l'air ambiant au droit des bâtiments 2 et 3. Un bruit de fond en ce produit est mis en évidence ponctuellement sur l'échantillon témoin. Le TCE est ponctuellement détecté dans l'air ambiant dans les bâtiments 2 et 3.

4 SCHEMA CONCEPTUEL

4.1 PRINCIPE

L'établissement du schéma conceptuel est réalisé conformément aux recommandations du guide « Schéma conceptuel et modèle de fonctionnement », édité par le Ministère en charge de l'environnement le 8 février 2007, sur la base des informations actuellement à notre disposition. Il tient compte de l'aménagement actuel du site et de ses alentours.

Le schéma conceptuel a pour objectif de réaliser un bilan factuel du site, et permet de préciser les relations entre :

- Les sources de pollution ;
- Les différentes voies de transfert et leurs caractéristiques ;
- Les enjeux ou cibles à protéger.

Si la combinaison de ces trois éléments (source – vecteur – cible) n'est pas réalisée, la pollution ne présente pas de risques sanitaires. Dans le cas contraire, une évaluation quantitative des risques est nécessaire pour établir si la pollution est compatible avec l'usage du site tel qu'il est prévu.

Les paragraphes ci-après permettent de décrire :

- Les sources de pollution ;
- L'identification des voies de transfert ;
- L'identification des cibles et des voies d'exposition associées.

Le schéma conceptuel du site anciennement occupé par la société *Knorr-Bremse* est présenté en **Figure 7**.

4.2 SOURCES DE POLLUTION

L'identification et la caractérisation des sources reposent sur les différentes campagnes de prélèvements de la nappe alluviale réalisés par ERM depuis 1999. Ces investigations ont permis d'identifier des impacts sur le milieu eau souterraine par les composés suivants :

- COHV ;
- Hydrocarbures totaux, dans une moindre mesure.

La principale zone source de COHV identifiée est la zone située dessous l'ancien bâtiment de traitement de surface et de dégraissage (bâtiment n°3 au niveau de PZ4).

Des teneurs plus faibles ont été détectées dans les sols au droit du bâtiment 2. Des détections ont été observées sur l'ensemble des sondages réalisés.

Les COHV sont sujet à la biodégradation. Les COHV parents (PCE) et leurs produits par dégradation (TCE, DCE et CV) ont été détectés, principalement dans les ouvrages situés en aval de la source de pollution pour ces derniers.

Les impacts par hydrocarbures (HCT) sont généralement moindres, les COHV étant les composés identifiés comme étant à risque puisque ces derniers ont migré des zones sources vers le premier aquifère. La source principale retenue sera donc les COHV.

4.3 IDENTIFICATION DES VOIES DE TRANSFERT

Les voies de transfert caractérisent les déplacements possibles des substances depuis le milieu sol vers les différents milieux considérés.

Le tableau ci-dessous présente les principales voies de transfert possibles dans chacun des milieux sélectionnés, en l'état actuel du site, et la justification de leur prise en compte ou non dans le cas étudié.

Milieu pris en compte	Voie de transfert potentielle	Prise en compte de la voie de transfert	Justification
Eaux souterraines	Migration	Oui	Un impact en COHV a été identifié dans la nappe alluviale.
Eaux de surface	Migration	Oui	Les polluants sont susceptibles de migrer vers la Touques via la nappe alluviale.
Air ambiant	Envol de poussières	Non	Compte tenu du recouvrement du site au droit de la zone source (sous un bâtiment), cette voie de transfert n'est pas considérée.
	Dégazage	Oui	Présence de composés organiques volatils dans les sols et la nappe.

4.4 IDENTIFICATION DES CIBLES ET DES VOIES D'EXPOSITION ASSOCIEES

Les points d'exposition correspondent aux points de contact entre la substance et les cibles à protéger.

Compte tenu des voies de transfert identifiées, les voies d'exposition associées ont été identifiées. Le tableau ci-après reprend l'ensemble des voies d'exposition possibles pour les cibles identifiées, et la justification de leur prise en compte ou non.

Voie d'exposition	Cible	Prise en compte de la voie d'exposition	Justification
Inhalation de substances volatiles	Travailleurs sur site	Oui	Compte tenu de la présence de solvants chlorés dans les eaux souterraines et de l'occupation de locaux fermés susceptibles d'accumuler les vapeurs toxiques provenant des sols et de la nappe, l'inhalation de substances volatiles doit être considérée.
Ingestion d'eaux superficielles	Usagers hors site	Non	Aucune prise d'eau pour l'alimentation en eau potable n'a été recensée à proximité du site sur la Touques.
Pêche dans les eaux superficielles	Usagers hors site	Oui	La Touques est une rivière de première catégorie pour la pêche de salmonidés.
Ingestion d'eaux souterraines	Usagers hors site	Non	Aucun captage AEP ou puits privé utilisé pour l'alimentation en eau potable n'a été identifié en aval hydraulique (consultation de la DDASS).

Du fait du maintien de l'usage industriel et du recouvrement de la source sol par un bâtiment, les autres voies d'exposition telles que l'ingestion de sol ou d'eau de nappe ou le contact direct avec l'eau de nappe et le sol n'apparaissent pas pertinentes.

4.5

SYNTHESE : SCENARIOS D'EXPOSITION RETENUS

Compte tenu de la problématique mise en évidence dans les paragraphes précédents relative à la présence de solvants chlorés dans les sols et les eaux souterraines au droit du site, nous proposons d'étudier les scénarios suivants :

- ***Sur site*** : inhalation de vapeurs par les travailleurs à l'intérieur des bâtiments de type industriel ;
- ***Hors site*** : usagers de la Touques (pêche).

Le schéma conceptuel est présenté sur la **Figure 7**.

5 **MESURES DE GESTION ENVISAGEABLES - BILAN COUTS/AVANTAGES**

5.1 **PRINCIPES**

D'après la nouvelle méthodologie en vigueur pour la gestion des sites et sols pollués (circulaires de Février 2007), les mesures proposées doivent identifier l'ensemble des options envisageables pour l'ancien site *Knorr-Bremse* compte tenu de la typologie des impacts identifiés. Chaque option est évaluée sur la base des critères d'appréciation suivants :

- les approches techniques, leur efficacité attendue et les coûts associés ;
- la gestion des risques environnementaux ;
- les aspects de développement durable et de bilan environnemental dans le cadre de l'actuel usage du site.

Les mesures de gestion doivent être définies sur la base du bilan coûts/avantages optimal en fonction de l'usage retenu (type industriel) en veillant à privilégier :

- dans un premier temps, les actions sur les sources de pollution, identifiées comme étant les zones les plus concentrées en polluants ;
- dans un second temps, la désactivation des voies de transfert (mesures de confinement, dispositions constructives, restrictions d'usage par exemple) concernant les zones de contamination résiduelle.

Sur la base de ces éléments, les mesures proposées s'attachent à la mise en œuvre d'actions de réhabilitation (techniquement applicables) ciblées sur les zones sources du site compte tenu de l'impact de ces zones sur le milieu naturel, et des risques potentiels pour les usagers du site.

5.2 **HYPOTHESES RETENUES**

Les paragraphes suivants présentent les différentes mesures pouvant être envisagées pour la gestion environnementale de l'impact en COHV mis en évidence sur le site *Knorr-Bremse* de Lisieux, en considérant les éléments suivants :

- la présence d'une zone source sous la dalle du bâtiment 3 (atelier de traitement de surface des métaux, activité exercée par *Knorr-Bremse* entre 1958 et 1998), dans la zone non saturée ;
- la présence de COHV dans la zone saturée, majoritairement au droit de l'ouvrage PZ4 (bâtiment 3) ;
- la réduction des flux en COHV vers la Touques ;

- la conservation d'un usage industriel du site sur la base de l'actuelle activité de la société Rivière SARL ;
- la présence de riverains en limite sud du site (réduction des nuisances) ;
- le maintien du bâtiment n°3, sous lequel se trouve la source sol de pollution, pour des raisons d'exploitation du site par la société Rivière. La présence du bâtiment protège les sols vis-à-vis des précipitations et donc d'un potentiel lessivage et supprime également certaines voies de transfert de la pollution ;
- le schéma conceptuel précédemment décrit ;
- la maîtrise des risques environnementaux liés au site.

La ou les mesures de gestion présentées visent à traiter ou à maîtriser les impacts principaux en COHV présents dans la zone non saturée (source sol) et saturée, au droit du bâtiment 3 (ouvrage PZ4, le plus impacté du site).

5.3 *MESURES DE GESTION ENVISAGEABLES*

5.3.1 *Présentation des mesures de gestion envisageables*

Les technologies suivantes peuvent être généralement considérées pour le traitement des COHV :

- Excavation des sols les plus contaminés de la zone source (éventuellement combinée à un traitement actif ciblé de la source) ;
- Venting et sparging ;
- Extraction double phase (EDP) ;
- Oxydation chimique in situ (ISCO) ;
- Bioremédiation in situ (ISBR) ;
- Réduction chimique in situ (RCIS) avec du Fer Zéro Valent Emulsifié (FZV) ;
- Ou une combinaison de 2 ou plusieurs techniques ;
- Confinement du site par pompage ;
- Protection des travailleurs (port d'Equipement de Protection Individuel par exemple) ;
- Modification de l'usage du site ;
- Suivi de l'atténuation naturelle.

Les principaux avantages et inconvénients/limitations des mesures de gestion évoquées précédemment sont présentés dans le tableau ci-après (« Bilan coûts/avantages »). Cette étude s'appuie sur l'expérience d'ERM à l'échelle internationale pour des sites contaminés par des COHV. Ce tableau a pour objet de mettre en évidence le principe de chaque technologie mais également les avantages et les limitations/inconvénients de chaque méthode et en tenant compte du contexte du site.

Bilan coûts/avantages

Technologie disponible	Avantages	Inconvénients et limitations	Coûts prévisionnels
<p>Excavation des sols les plus contaminés de la zone source dans la zone saturée puis traitement/mise en décharge hors site</p> <p>L'excavation s'étendrait (en profondeur) en moyenne sur 3 à 5 m dans la zone saturée pour éliminer les sols contaminés des zones sources</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité de la technologie prouvée –efficace pour l'enlèvement de tout type de contaminants dans les sols accessibles en zones non saturée et saturée • Solution rapide • Retrait de la source sol (zone non saturée) 	<ul style="list-style-type: none"> • Impact sur l'activité de la société RIVIERE : activité arrêtée pendant toute la période des travaux et devant être transférée dans un autre bâtiment. • L'équipement lourd nécessaire pour effectuer l'excavation sur le site nécessite la prise en compte plus large de la sécurité des ouvriers pour des risques physiques. • L'enlèvement des sols nécessite un dispositif de soutènement lourd ; paroi armée au coulis sur tout le pourtour de l'excavation, fondée à 11 mètres de profondeur. • Des mesures de HSE (contrôle des vapeurs) et d'assèchement seront nécessaires pendant l'excavation, traitement des eaux pompées à prévoir. • L'excavation et l'élimination hors-site des sols impactés s'inscrivent moins dans une démarche de « développement durable » qu'une solution sur-site (du fait de la circulation des camions et du transfert de pollution vers les décharges). • En cas d'excavation incomplète, un traitement de la contamination résiduelle ou l'interception en aval des eaux souterraines impactées peuvent rester nécessaires. 	+++
<p>Venting / Sparging</p> <p>Installation de puits de venting et de sparging au cœur des zones sources.</p> <p>Nécessité de puits de venting verticaux, avec isolation en surface, compte tenu de la faible profondeur des eaux souterraines.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité de la technologie prouvée –efficace pour la récupération des contaminants volatils des sols perméables non-saturés ; efficacité moindre pour la récupération des contaminants volatils des sols perméables saturés • Compatible avec la poursuite de l'activité du site. Encombrement limité au niveau des ateliers. • Les COHV sont sensibles à cette technologie • Intègre le traitement des zones saturée et non saturée. • Permet de mettre en dépression les sols et donc de limiter la migration des vapeurs vers l'air ambiant des ateliers. • Pas de relargage type vapeurs non contrôlé. 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement partiel de la zone source. • L'accessibilité sera limitée par l'activité du site ; l'installation des points de venting/sparging devra être coordonnée avec les périodes de fermeture pour éviter de perturber l'activité du site. Même pendant ces périodes, la relocalisation de l'équipement de production sera nécessaire. • Des mesures de HSE (contrôle des vapeurs) seront nécessaires pendant l'installation du système. • Cette solution exige un compresseur, un ventilateur, un système de traitement d'air, et l'évacuation d'un peu d'eau de condensation. • L'efficacité de ce traitement est moindre dans les formations peu perméables. • Le dispositif est très consommateur en électricité. • Délais de l'ordre de plusieurs mois. • Suivi de la qualité de la nappe à considérer 	++
<p>Extraction Double Phase (EDP)</p> <p>Les eaux souterraines et les gaz du sol seraient pompés à l'aide de puits d'extraction horizontaux ou verticaux. Les eaux et les gaz peuvent être récupérés séparément ou simultanément grâce à l'extraction sous vide.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité de la technologie prouvée –efficace pour la récupération des contaminants volatils des sols d'une perméabilité modérée à forte, dans les zones saturée et non saturée peu profondes • Compatible avec la poursuite de l'activité du site. Encombrement limité au niveau des ateliers. • Les COHV sont sensibles à cette technologie • Cette solution permet le traitement des zones saturée et non saturée • Une perméabilité modérée au sein des eaux souterraines ($K \leq 10^{-4}$cm/s) limitera le volume d'eaux souterraines à pomper et traiter 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement partiel de la zone source. • L'accessibilité sera limitée par l'activité du site ; l'installation des points d'EDP devra être coordonnée avec les périodes de fermeture pour éviter de perturber l'activité du site. Même pendant ces périodes, la relocalisation de l'équipement de production sera exigée. • Compte tenu du contexte géologique peu perméable, de nombreux points d'EDP seront nécessaires ce qui contraindra à une accessibilité élevée pendant l'installation et le fonctionnement du système. Le risque de tassement potentiel lié au pompage devra aussi être appréhendé. • Des mesures éventuelles de HSE (contrôle des vapeurs) peuvent être nécessaires pendant l'installation du système. • Cette solution nécessite une pompe à vide et un système de traitement d'air et d'eau. L'eau produite nécessiterait traitement, et évacuation hors-site (réduisant ainsi le caractère « développement durable » de cette option). • Le dispositif est très consommateur en électricité. • Délais de l'ordre de plusieurs mois. • Suivi de la qualité de la nappe à considérer 	+++
<p>Oxydation Chimique In-Situ (ISCO)</p> <p>Pour les sources d'éthènes chlorés uniquement, du permanganate, du peroxyde d'hydrogène ou du persulfate activé pourraient être utilisés pour le traitement. Le persulfate activé pourrait être utilisé pour les zones impactées par des éthènes chlorés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité de la technologie prouvée –efficace pour oxydation de certains contaminants des sols d'une perméabilité modérée à forte dans les zones saturées et non saturées • Compatible avec la poursuite de l'activité du site. Encombrement limité au niveau des ateliers. • Les COHV sont sensibles à cette technologie • Normalement 2 ou 3 phases actives d'injection sont nécessaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement partiel de la zone source. • L'accessibilité sera limitée par l'activité du site ; l'installation des galeries d'injection et des autres équipements devra être coordonnée avec les périodes de fermeture pour éviter de perturber l'activité du site. Même pendant ces périodes, la relocalisation de l'équipement de production sera exigée. • Cette solution nécessite l'installation d'un système d'injection opérationnel pendant plusieurs mois. • Des mesures de HSE (contrôles des vapeurs) seront nécessaires pendant l'installation et mise en œuvre du système. • La quantité d'oxydant nécessaire est difficile à appréhender. • L'injection d'oxydant dans le sous-sol inhibera la biodégradation anaérobie naturelle, via la déchloration réductrice. • Suivi de la qualité de la nappe à considérer 	++

Technologie disponible	Avantages	Inconvénients et limitations	Coûts prévisionnels
<p>Biorémediation Anaérobique In Situ L'injection d'un substrat de carbone tel que de l'huile émulsifiée ou du lactate de sodium stimulerait la déchloration réductrice des éthènes chlorés. Le substrat peut être injecté à travers des puits permanents ou par guidage direct. Cette technique peut être combinée à du Fer Zéro Valent (FZV) (ex : utilisation de FZV émulsifié) pour un traitement plus rapide.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Efficacité de la technologie prouvée –efficace pour la réduction biologique en phase aqueuse de certains contaminants des sols d'une perméabilité modérée à forte dans la zone saturée • Les COHV sont sensibles à cette technologie • Compatible avec la poursuite de l'activité du site. Encombrement limité au niveau des ateliers. • Optimise les processus d'atténuation biologique en cours actuellement au droit du site (dégradation des COHV parents) 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement partiel de la zone source. • L'accessibilité sera limitée par l'activité du site ; l'installation des galeries d'injection et des autres équipements devra être coordonnée avec les périodes de l'usine pour éviter de perturber l'activité du site. Même pendant ces périodes, la relocalisation de l'équipement de production sera exigée. • Cette solution nécessite l'installation d'un système d'injection opérationnel pendant plusieurs mois. • Des mesures de HSE (contrôles des vapeurs) seront nécessaires lors de l'installation et mise en œuvre du système. • Création (temporaire) de chlorure de vinyle. • Suivi de la qualité de la nappe à considérer 	+
<p>Réduction Chimique In Situ (RCIS) avec du Fer Zéro Valent Emulsifié (FZV) Du FZV en particules peut être injecté sous forme de boues ou d'émulsion dans les zones sources. Cette technologie traite les voies d'écoulement préférentielles pour les éthènes chlorés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie innovante potentiellement efficace pour la réduction chimique en phase aqueuse de certains contaminants des sols d'une perméabilité modérée à forte dans la zone saturée • Les COHV sont sensibles à cette technologie • Compatible avec la poursuite de l'activité du site. Encombrement limité au niveau des ateliers. • Effet significatif du traitement après les injections • Un nombre limité de phases d'injection est normalement suffisant 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement partiel de la zone source. • L'accessibilité sera limitée par l'activité du site et l'existence de bâtiments. • Des mesures éventuelles de HSE (contrôles des vapeurs) peuvent être nécessaires lors de l'installation du système et pour le suivi. • Il s'agit d'une technologie relativement récente, avec un retour d'expérience limité en France. • Compte tenu du contexte géologique peu perméable, de nombreux points d'injection seront nécessaires, ce qui contraindra à une grande accessibilité pendant l'installation et le fonctionnement du système. • L'injection du FZV à forte pression, peut affecter les fondations et /ou les réseaux enterrés. • L'efficacité de ce traitement est moindre dans les formations peu perméables Plusieurs campagnes à prévoir. • La durée du traitement est longue en cas de concentrations élevées. • Création (temporaire) de chlorure de vinyle. • Suivi de la qualité de la nappe à considérer 	++
<p>Confinement du site par pompage Un système de puits de pompage permet d'éviter tout transfert du site vers la Touques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicité de mise en œuvre • Compatible avec la poursuite de l'activité du site. Encombrement limité au niveau des ateliers. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de traitement effectif de la source. • Le risque de tassement potentiel lié au pompage, voire de déstabilisation des sols, devra aussi être appréhendé. • Nécessité de traiter les eaux pompées. • Délais très longs. • Pas d'action sur les transferts vers l'air ambiant. 	++
<p>Protection des travailleurs Action au niveau des individus via le port de masques sur les zones considérées comme critiques.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicité de mise en œuvre • Coûts 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de traitement de la source. • Délais très longs. • Acceptabilité de ces contraintes par l'entreprise et ses salariés ? • Ne concerne pas les transferts vers la Touques. 	+
<p>Modification de l'usage du site Pas d'activité au niveau des zones critiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de cibles exposées via l'inhalation • Maîtrise de l'occupation 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilité avec l'activité de la société RIVIERE. • Pas d'actions sur la source. • Mémoire de ces contraintes pour l'avenir. 	+
<p>Suivi de l'atténuation naturelle Situation actuelle</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts • Pas d'impact sur l'activité du site 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'actions sur la source. • Pas d'actions pour les salariés potentiellement exposés. • Ne répond pas à la demande de la DREAL. 	+

5.3.2

Mesures de gestion applicables

Le choix de la stratégie de réhabilitation est réalisé sur la base du bilan coûts/avantages :

- les délais de traitement de chaque méthode,
- la surface disponible pouvant être neutralisée pour le traitement, l'existence de risques résiduels,
- la mise en place éventuelle de dispositions/contraintes constructives,
- la mise en place de servitudes et de restrictions d'usage,
- les responsabilités environnementales résiduelles.

Au vu des informations dont nous disposons, les techniques de réhabilitation pouvant être retenues en première approche sont les suivantes :

- **l'excavation des sols** ;
- **le venting/air sparging** ;
- le traitement biologique par **bioremédiation** ;
- l'oxydation chimique in situ (**ISCO**) ;
- la **réduction chimique in-situ** par injection de Fer zérovalent par exemple.

En complément de ces techniques, dont le but est de traiter la zone source (sol et nappe), l'atténuation naturelle est une méthode qui s'avère efficace pour les concentrations résiduelles dans le panache aval après le traitement des sources.

Ne sont pas retenues :

- l'extraction double-phase (EDP), en raison du coût élevé, des contraintes liées à la gestion des eaux produites et des tassements potentiels ;
- la réduction chimique in situ (RCIS) avec du Fer Zéro Valent Emulsifié (FZV), en raison de la durée du traitement en cas de concentrations élevées ;
- le confinement du site par pompage (ou autre système) car il ne permet pas une action concrète sur le traitement de la source ni sur les expositions des travailleurs ;
- les protections des travailleurs car elles ne permettent pas une action concrète sur le traitement de la source et semblent difficilement acceptables par les personnels du site ;
- la modification de l'usage car elle ne permet pas une action concrète sur le traitement de la source ni sur les expositions des travailleurs et n'est pas compatible avec l'activité de la société RIVIERE ;
- le suivi de l'atténuation naturelle seul car il ne permet pas une action concrète sur le traitement de la source ni sur les expositions des travailleurs.

Les techniques de confinement ne sont généralement pas considérées comme de véritables techniques de traitement, car exigeant un niveau de servitudes très important, et n'ont donc pas été retenues dans le cadre du présent plan de gestion.

5.3.3 *Présentation succincte des techniques de traitement envisageables*

Excavation des sols

Cette technique consiste en la purge des sols impactés par excavation. Les terres ainsi excavées sont ensuite envoyées en filière agréée (Installation de Stockage de Déchets de Classe 1 ou 2). L'excavation est remblayée par la suite et une dalle peut être refaite. La zone considérée pour ce traitement se trouvant dans un bâtiment, une attention doit être portée à la stabilité de ce bâtiment. Les sols impactés à excaver se trouvant dans la zone non saturée (hors nappe) et saturée (dans la nappe), un dispositif particulier de confortement de la fouille doit être mis en place pour terrasser au plus près des murs et assurer la stabilité de la fouille. Les eaux de la fouille doivent être pompées pour l'assécher et traitées.

De plus, la zone à excaver se trouve dans le bâtiment, induisant des contraintes sur la réalisation.

Venting/air sparging

La technique de venting consiste à extraire sous forme de vapeurs les composés organiques présents dans le sol en appliquant une forte dépression via des puits d'extraction installés dans la zone non saturée. Cette technique est applicable aux composés organiques volatils (pression de vapeurs > 0,5 mm Hg).

Pour le traitement de la zone saturée, le dispositif de venting peut être associé à un dispositif d'air sparging, dont le but est de volatiliser les composés présents dans la zone saturée par l'intermédiaire de puits d'injection d'air. Les vapeurs sont ensuite extraites par le système de venting en place.

Les délais de mise en œuvre et réalisation associés au venting sont généralement rapides. De plus, du fait du pompage, ce dispositif permet de capter les vapeurs au niveau du sous-sol et de le mettre en dépression. Ainsi, la migration vers l'air ambiant sera limitée.

Bioremédiation

La technique consiste à stimuler ou optimiser le métabolisme de micro-organismes par l'apport d'un substrat carboné (micro-émulsion d'huile ou acétate/lactate) pour dégrader les polluants présents dans les eaux souterraines. Dans le cadre du traitement de COHV, la bioremédiation se fera en anaérobie.

Elle repose sur l'injection d'un substrat carboné (lactate de sodium ou huile émulsifiée par exemple) dans la zone source de l'aquifère par des puits permanents ou par injection directe (technique du « direct push »). Ce substrat agira comme source donneuse d'électrons et permettra ainsi d'améliorer la déchlorination réductrice naturelle.

Oxydation chimique in situ (ISCO)

La technique consiste en l'injection d'un oxydant de type réactif de Fenton, permanganate de sodium ou persulfate activé par l'intermédiaire de puits de traitement positionnés sur le site.

Réduction chimique in situ

La technique consiste en l'injection d'un réducteur de type Fer zérovalent par l'intermédiaire de puits de traitement positionnés sur le site.

Atténuation naturelle

Il s'agit d'un suivi de la décroissance naturelle des composés organiques.

5.3.4 *Pré-sélection des solutions possibles*

Deux alternatives majeures ont été considérées en première approche :

- **Traitement ex-situ : excavation de sols** permettant un traitement rapidement et efficace de la source mais nécessitant un dispositif de soutènement,
- **Traitement in-situ : extraction des vapeurs des sols par venting, éventuellement associée à un dispositif de sparging** permettant une perturbation acceptable pour l'atelier mais conduisant à un traitement partiel de la zone source plus long.

Les solutions de bioremédiation ou oxydation chimique in-situ constitueraient des solutions complémentaires aux deux évoquées, ou pouvant être combinées avec l'une des deux solutions. Des essais de faisabilité (sur site ou en laboratoire) permettraient d'optimiser le traitement.

De manière à affiner la faisabilité des deux principales solutions (traitement in ou ex-situ), des compléments d'études ont été menés :

- Essais de venting pour vérifier la faisabilité technique de l'extraction de vapeurs,
- Etude géotechnique pour définir le dispositif de soutènement nécessaire à l'excavation.

5.4 *TRAITEMENT IN-SITU*

5.4.1 *Essai de venting*

Afin de déterminer la faisabilité d'un traitement par venting et la capacité de ce traitement à extraire de la masse de polluant, un essai de venting a été effectué. Le but de cet essai était de pouvoir dimensionner le venting à mettre en œuvre sur le site et de déterminer le système de traitement des gaz extraits.

Cet essai de venting a été réalisé sur une aiguille de venting installée à la suite d'un carottage de sol. Cette aiguille (SB1) de 2,50 m de profondeur, est localisée dans la partie nord-est du bâtiment 3, à proximité de PZ4.

Un essai par paliers a été préalablement réalisé afin de vérifier les rayons d'influence par rapport au débit et à la dépression optimum pour la réalisation d'un traitement par venting.

L'essai de longue durée réalisé ensuite a consisté en l'extraction des gaz du sol pendant 46 heures à un débit de l'ordre de 9 m³/h. Les concentrations en polluants dans les gaz pompées ont été mesurées à l'aide d'un PID. Les gaz ainsi pompés étaient ensuite traités sur charbon actif avant rejet.

Seul le point de contrôle S8, situé à 1,80 m du puits d'extraction a présenté une influence notable, avec une dépression atteignant les -0,10 mbar. Les trois autres points de contrôle ne présentent que de très faibles variations de l'ordre du centième de millibar.

Les valeurs particulièrement élevées mesurées par le PID étaient d'environ 2 000 ppm durant la majorité de l'essai, pour finalement diminuer vers 1 000 ppm après 45h de pompage.

Les résultats montrent que les gaz extraits (PCE principalement) sont très rapidement très concentrés (valeurs de l'ordre 6 000 mg/m³). Le pic de récupération est atteint au bout de 3 heures (8 500 mg/m³). Au bout de 45 heures, les valeurs récupérées restent significatives (3 450 mg/m³).

En conclusion, cet essai montre que la technique du venting permet une récupération efficace (sur la durée de l'essai) des gaz.

5.4.2 *Estimation des coûts*

Les coûts pour le traitement par venting/sparging ont été estimés de la manière suivante :

- Venting :
 - mise en place / installation : 70-120 k€ ;
 - coût annuel : 65-95 k€ - durée : 1 an ;

- Sparging :
 - mise en place / installation : 20 k€ ;
 - coût annuel : 25-40 k€ ;
- Charbon actif : 15-20 k€ ;
- Consommation électrique : 15-20 k€/an ;
- Assistance à Maîtrise d’Ouvrage/Maîtrise d’Œuvre : 20% - 40-60 k€ ;
- Incertitudes : 20% - 40-60 k€ ;

Soit un total estimé entre 290-435 k€.

L’injection de substrat pour action sur le panache de COHV dissous dans les eaux souterraines aurait un coût de l’ordre de 20-30 k€ pour une injection.

Le suivi de l’atténuation naturelle et de la nappe représente un budget de l’ordre de 20 k€/an

5.5 *TRAITEMENT EX-SITU*

5.5.1 *Reconnaitances géotechniques*

Dans le cadre de la définition des solutions envisageables pour la gestion du site, une solution serait l’excavation des sols. La zone impactée étant située au sein d’un bâtiment, la faisabilité de cette excavation devait être vérifiée via la réalisation d’une étude géotechnique. Cette étude a permis de définir le meilleur protocole de réalisation et d’obtenir une estimation des coûts.

Dans ce cadre, les missions suivantes ont été réalisées :

- Mission G12, étude géotechnique d’avant projet. Cette mission a consisté en la réalisation d’un sondage pressiométrique jusqu’à 11 mètres, avec 9 essais pressiométriques et une fouille de reconnaissance des fondations. Ces investigations ont été réalisées hors du bâtiment 3, à proximité de la zone du Pz4. Ceci a permis de reconnaître et caractériser les sols présents d’un point de vue portance, et de reconnaître la profondeur des fondations du bâtiment existant. Le sondage a été rebouché à la bentonite par la suite ;
- Mission G2, étude géotechnique de projet. Cette partie de l’étude consistait à définir et dimensionner le dispositif permettant d’excaver les sols au droit du bâtiment en toute sécurité et de fournir une estimation des coûts associés. Une excavation des sols sur une zone de 7 x 10 m sur 4-5 mètres de profondeur a été étudiée.

La réalisation de ces missions a été confiée à la société Technosol, sous la supervision d’ERM. Les rapports Technosol sont fournis en **Annexe 1**.

Les investigations ainsi réalisées ont mis en évidence les points suivants :

- Présence de terrains sablo-graveleux jusque 7,5 m de profondeur, puis marno-calcaires (matériaux de bonne portance). Les terrains sablo-graveleux ne présentent pas une bonne tenue (boulants). De plus, ils sont baignés par la nappe à partir de 2,5-2,8 m de profondeur, accentuant la mauvaise tenue des terrains,
- Il apparait extrêmement difficile de mettre en place un système de rabattement de nappe sous peine de déstabiliser les terrains (boulants et donc remobilisés en cas de pompage),
- Les bâtiments sont fondés sur un mur en moellon de 70 cm de profondeur. Cette fondation repose donc sur les terrains bouillants, de mauvaise qualité d'un point de vue portance.

Par conséquent, les contextes géologique (terrains de mauvaise portance jusque 7,5 m de profondeur) et hydrogéologique (nappe à 2,8 m de profondeur) et les fondations peu profondes sur ces terrains de mauvaise portance conduisent à nécessiter un système de soutènement complet pour 1) permettre de réaliser la fouille et 2) reprendre l'effort lié aux murs du bâtiment.

Le système de soutènement envisagé correspond donc à réaliser une paroi armée au coulis sur tout le pourtour de l'excavation, jusqu'à 9 mètres de profondeur de manière à être ancrée de 1,5 m dans les terrains « sains » que sont les marno-calcaires. En raison de la réalisation de cet ouvrage dans le bâtiment présentant une hauteur sous plafond limitée (4-4,5 mètres maximum), les machines classiques ne sont pas envisageables.

5.5.2

Estimation des coûts

Les coûts ont été estimés de la manière suivante :

- Dispositif de soutènement :
 - Etude complémentaire géotechnique (réalisée) : 20 k€ ;
 - Réalisation du dispositif : prestation globale estimée entre 400 et 450 k€¹² ;
- Terrassement – évacuation des terres :
 - enlèvement dalle : 5 k€ ;
 - terrassement en atmosphère sous contrôle : 10-15 k€ ;
 - mesures hygiène et sécurité : 5-10 k€ ;
 - évacuation (transport inclus) : 60-80 k€ ;
 - pompage eaux et traitement : 10-20 k€ ;
 - remblaiement (standard) : 5-10 k€ ;
- Assistance à Maîtrise d'Ouvrage/Maîtrise d'Œuvre : 20% - soit 100-120 k€ ;

¹² Estimée de la manière suivante : Amenée-repli du matériel : 135 k€, foration de la paroi armée au coulis 175 k€, fournitures : ciment : 23 k€, profilés : 65 k€, treillis soudés : 8 k€, liernes et butons : 25 k€

- Incertitudes : 20 % - soit 100-120 k€.

Soit un total estimé entre 715 et 850 k€.

L'injection de substrat pour action sur le panache en dissout aurait un coût de l'ordre de 20-30 k€ pour une injection.

Le suivi de l'atténuation naturelle et de la nappe représente un budget de l'ordre de 20 k€/an.

6 STRATEGIE DE REHABILITATION RETENUE ET MESURES DE GESTION - SOLUTION MIXTE : IN-SITU / EX-SITU

6.1 MESURES DE GESTION ET COÛTS ESTIMES

L'approche proposée pour les traitements / mesures de gestion est orientée sur le traitement des éthènes chlorés, essentiellement les PCE et TCE et leurs produits de dégradation (Cis-DCE et CV). Des mesures de gestion potentielles sont détaillées ci dessous.

La discussion suivante à propos des techniques à mettre en œuvre est d'abord orientée sur le traitement de la zone source puis sur le panache dissous situé au droit et en aval hydraulique de la zone source.

Les mesures de gestion proposées peuvent être divisées en plusieurs grandes phases successives et distinctes.

Les coûts liés à l'excavation jusque 5 mètres de profondeur étant importants, notamment en raison des coûts de soutènement, une solution intermédiaire pourrait consister en :

- L'excavation des sols dans la zone non saturée (hors nappe) et évacuation des terres en décharge agréée, moyennant la mise en place d'un dispositif de soutènement temporaire. Ceci permettrait de purger les sols les plus impactés par le PCE (teneur de 345 mg/kg mesurée entre 0,6 et 0,9 m en SB1-1). Si cela est réalisable (d'un point de vue technique mais aussi stabilité des bâtiments¹³), les sols situés dans la zone saturée pourraient être partiellement purgés,
- Un traitement in-situ de la zone saturée (zone baignée par la nappe) de type sparging et/ou dégradation des composés par réduction ou bioremédiation. Ces deux dernières techniques nécessiteraient l'injection d'un produit type Fer zérovalent ou d'un substrat carboné. La réalisation de la fouille permettra d'avoir accès au fond pour injecter directement ou mettre en place des pointes qui seraient utilisées pour des injections ultérieures,
- Suivi de l'atténuation naturelle par la suite.

Concernant la phase de traitement in-situ, des tests complémentaires seraient nécessaires pour sélectionner la meilleure solution et réaliser le meilleur dimensionnement.

¹³ Un dispositif de rabattement de nappe n'est pas envisageable en l'absence d'un système de soutènement complet. En effet, les terrains bouillants risquent d'être sollicités dans le cas d'un pompage.

6.2

ESTIMATION DES COÛTS

Les coûts pour cette solution mixte peuvent être estimés de la manière suivante :

- Excavation/évacuation :
 - Préparation / amenée/repli : 10-20 k€ ;
 - Terrassement d'environ 200 €/m³ avec soutènement temporaire, suivi, contraintes hygiène-sécurité : 30-50 k€ ;
 - enlèvement dalle : 5 k€ ;
 - mesures hygiène et sécurité : 5-10 k€ ;
 - évacuation (transport inclus) : 40 k€ ;
 - remblaiement (standard), inclus suivi : 10 k€ ;
- Traitement in-situ :
 - mise en place d'aiguilles : 5-10 k€ ;
 - essais complémentaires : 15-20 k€ ;
 - Traitement :
 - injections (2) : 40-60 k€ ;
 - ou sparging (1 an) : 75-100 k€ ;
- Assistance à Maîtrise d'Ouvrage/Maîtrise d'Œuvre : 20% - soit 50-65 k€ ;
- Incertitudes : 20 % - soit 50-65 k€.

Soit un total estimé entre 330 et 450 k€.

Les coûts liés au déplacement de l'activité Rivière SARL et à la réfection d'éventuels réseaux ne sont pas inclus dans la présente estimation. La réalisation d'une consultation d'entre prises spécialisées permettrait d'optimiser les coûts et le budget global.

6.3

RAISONS DE LA SELECTION

Cette solution présente les avantages suivants :

- Purge de la partie la plus concentrée de la source,
- Accès aisé à la zone saturée pour mettre en place un dispositif de traitement in-situ,
- Traitement in-situ optimisé,
- Interventions ultérieures possibles pour le traitement in-situ,
- Bilan financier plus acceptable pour Knorr-Bremse.

Les inconvénients sont les suivants :

- Arrêt de l'activité de la société Rivière SARL pendant les travaux,
- Traitement limité de la zone saturée,

- Nécessité de maintenir un suivi de la qualité de la nappe.

Par conséquent, cette solution mixte étant celle présentant le bilan coûts/avantages (en considérant un traitement le plus avancé sur les zones non saturée et saturée, et coûts restant acceptables) le plus intéressant, ERM recommande sa mise en œuvre pour la gestion du site.

Toutes ces mesures seront accompagnées de **campagnes de suivi de la qualité des eaux souterraines** sur le réseau déjà en place.

ERM suggère que les différentes phases restent ouvertes à la discussion et aux ajustements pour que la mise en œuvre puisse être optimisée en fonction des conditions de terrains, des contrôles de l'efficacité du système en place.

Enfin, il est possible qu'une contamination résiduelle demeure après traitement. Dans ce cas, des restrictions d'usage et de construction pourraient être mises en place temporairement en parallèle à l'application des technologies choisies, notamment pour la **zone source** au droit du bâtiment de traitement de surface des métaux.

6.4 CONTROLE DE L'EFFICACITE DES MESURES DE GESTION PROPOSEES

L'efficacité des mesures proposées devra être contrôlée par :

- La validation des travaux de réhabilitation après excavation des spots identifiés par la réalisation d'une nouvelle Analyse des Risques Résiduels (ARR) sur la base des concentrations résiduelles (inclus air ambiant) ;
- La poursuite de la surveillance de la qualité des eaux souterraines à une fréquence semestrielle en vue d'évaluer son évolution dans le temps sous l'influence des actions de traitement envisagées ;
- La traçabilité des actions mises en œuvre.

6.5 SYNTHESE DES MESURES DE GESTION

Le choix des traitements / mesures de gestion pour l'ancien site *Knorr-Bremse* est synthétisé ci-dessous. L'approche proposée, a été effectuée selon les meilleures pratiques en vigueur (françaises et internationales) est également favorable en termes de bénéfices environnemental et financier.

Pour la zone source la plus impactée (située entre Pz3 et Pz4), en conformité avec la nouvelle méthodologie, une approche visant à réduire la source est considérée. Toutes les technologies présentées dans les paragraphes précédents pourraient être efficaces pour le traitement de la partie saturée de la zone source.

- Afin de réduire très significativement la masse de solvants chlorés présents dans la zone non saturée, et ainsi rendre applicables d'autres méthodes de traitement effectives plus rapidement, **l'excavation et élimination des sols hors nappe (jusque 2,5-2,8 m/sol) est retenue dans une première étape**. Ceci permettra aussi la mise en place d'un réseau d'injection utilisé en 2^{ème} étape.
- De manière à optimiser l'utilisation des technologies aujourd'hui disponibles et d'obtenir le meilleur traitement, l'application d'un traitement complémentaire **dans une deuxième étape** est considéré. Il pourrait s'agir **d'un traitement physique (sparging) ou de la bioremédiation anaérobie in situ ou réduction par injection de Fer zérovalent**. Ceci permettrait le traitement des impacts de la zone source dans la partie profonde.
- La réduction de la masse de polluants par traitement de la source permettra de réduire le flux et la concentration des contaminants dans le panache dissous. Ainsi l'atténuation naturelle (surveillée ou assistée) serait facilitée.
- De plus, un **suivi régulier de la qualité des eaux** sera mis en place tout au long de chaque phase.

6.6

SERVITUDES ET RESTRICTIONS D'USAGE

Plusieurs mesures simples de gestion devront également être mises en œuvre, parallèlement aux mesures de gestion potentielles discutées ci-dessus, pour s'assurer que les voies d'exposition potentielles associées restent inactives. Ces mesures sont résumées ci-dessous :

- Information délivrée à tout employé de gestion et de maintenance des réseaux enterrés sur site et aux éventuels ouvriers creusant dans les zones sources, et à ses responsables, de la présence potentielle de vapeurs de COHV ;
- Poursuite du programme de contrôle de la qualité des eaux souterraines.

En complément des mesures de gestion proposées, et en fonction des options de traitement / mesures de gestion retenues, des servitudes et restrictions d'usage pourraient être mises en œuvre.

Les restrictions sont proposées dans le cadre des dispositions prévues par l'article L. 512-76 du Code de l'Environnement. Elles sont imposées aux propriétaires et futurs propriétaires, au droit des parcelles concernées après l'inscription au Plan Local d'Urbanisme.

Il conviendrait également de conserver la mémoire de la pollution résiduelle sur le site, par la mise en place de restrictions d'usage en vue d'encadrer toute modification de la configuration du site et prévenir tout usage de type sensible sur le site. Ces servitudes et restrictions d'usage seraient applicables à l'ensemble du site mais des zones d'application plus ciblées pourraient être définies en fonction des plans détaillés d'aménagement futur du site.

Des servitudes ou restrictions d'usage éventuelles pourraient consister en :

- Interdiction de construction de bâtiments ;
- Obligation que tous les bâtiments éventuellement construits dans certaines zones du site intègrent des dispositions constructives (ex. création de vide sanitaire) ;
- Interdiction de tout usage des eaux souterraines sauf autorisation préalable des administrations ;
- Interdiction d'aménager des plans d'eau ou des bassins d'infiltration ;
- Les plantations de certains arbres pourraient également être interdites ;
- Lors de la mise en place des canalisations d'eau potable, celles-ci devront respecter les conditions suivantes :
 - Soit implantation en dehors des zones polluées par des composés organiques ;
 - Soit mise en place de dispositions particulières en rapport avec la problématique de composés volatils et les risques de dissolution des joints de canalisation en PVC ;
 - Soit enterrement des canalisations en PEHD dans une fosse de terre propre d'une section d'au moins 1 m².

Ces servitudes pourraient être modifiées, voire supprimées dans le cas d'un réaménagement du site.

Enfin, si le site devait être réaménagé pour un usage sensiblement différent, ou si de nouvelles structures étaient mises en places, des dispositions constructives et une adaptation du projet d'aménagement pourraient être envisagées afin de limiter les servitudes.

Par ailleurs, lors d'éventuels travaux d'excavation, les dispositions suivantes devraient être respectées :

- Elimination des terres contaminées dans une filière agréée et traçabilité de la gestion des terres polluées (dossier de récolement, bordereaux de suivi de déchets, grillage avertisseur avant remblaiement...) ;
- Installations de chantier spécifiques pour les travaux en milieu pollué ;
- Equipements de protection individuelle (EPI) adaptés en fonction des polluants identifiés sur le site (risques d'inhalation de vapeurs toxiques, d'ingestion ou de contact direct) ;
- Limitation de l'envol des poussières lors des travaux de réhabilitation (humidification des terres de surface, évacuation des terres par camions bâchés, protection des stockages temporaires des terres...).

7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

7.1 RAPPEL DU CONTEXTE

Le suivi de la qualité des eaux souterraines mis en place depuis décembre 1999 au droit de l'ancien site *Knorr-Bremse* a mis en évidence un impact sur les eaux souterraines par des solvants chlorés (essentiellement PCE et TCE et leurs produits de dégradation tels que le chlorure de vinyle). A la demande de la DREAL, une définition de mesures de gestion de la source de pollution présente au droit de Pz4 (ouvrage le plus impacté du site), doit être réalisée (note annexe transmise le 8 avril 2010 et compte-rendu de la réunion de mai 2010).

Le présent rapport inclut la caractérisation détaillée de la pollution du site et un plan de gestion incluant un bilan coûts/avantages des différentes techniques de dépollution envisagées.

7.2 STRATEGIE GENERALE DE GESTION DU SITE

Les impacts identifiés au droit du site sont susceptibles de migrer hors site, notamment vers la rivière La Touques située en aval hydraulique. Ainsi, la préparation d'un Plan de Gestion pour traiter les eaux souterraines impactées apparaît comme nécessaire, compte tenu de la détérioration de la qualité des eaux souterraines. Une action sur la zone source permettra à l'avenir de limiter les risques de transfert de vapeurs vers les bâtiments sus-jacents.

A l'issue du bilan coûts/avantages, la stratégie de traitement pour la contamination des eaux souterraines en solvants chlorés au droit de l'ancien site *Knorr-Bremse* est synthétisée ci-dessous :

- Excavation de la source sol au niveau de la zone non saturée ;
- Complétée par un traitement de la zone saturée par la mise en place d'un dispositif de traitement in-situ physique (sparging) ou biologique (bioremédiation in situ) ou chimique (réduction in situ).

La possibilité d'alternative dans le cadre d'une consultation d'entreprises permettra de laisser ouvert le choix de la solution retenue in fine (ou des solutions combinées).

Le suivi de la qualité des eaux souterraines du site actuellement en place sera maintenu et éventuellement adapté (fréquence, nombre d'ouvrages) afin de contrôler l'évolution des concentrations dans les eaux souterraines au cours des travaux de réhabilitation.

Un dispositif de validation de l'atteinte des objectifs de la réhabilitation devra être mis en place. Une ARR devra ainsi être réalisée. Des Servitudes pourraient aussi être mises en œuvre de manière à pérenniser les usages actuels et sécuriser la gestion du site dans le temps.

FIGURES ET ANNEXES

FIGURES

Figure 1	Localisation du site
Figure 2	Localisation des activités historiques et actuelles principales
Figure 3	Contexte géologique régional
Figure 4	Localisation des piézomètres, des points de prélèvements d'air ambiant et des points de prélèvement de gaz du sol
Figure 5	Localisation des points de sondages sols
Figure 6	Evolution du niveau statique de la nappe – décembre 1999 à mars 2011
Figure 7	Schéma conceptuel du site mis à jour

TABLEAUX

Tableaux 1A à 1O	Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011
Tableau 2A à 2B	Résultats des analyses de l'air ambiant - juin à mars 2011

ANNEXES

Annexe A	Rapports Technosol
----------	--------------------

FIGURES

- Figure 1 Localisation du site
- Figure 2 Localisation des activités historiques et actuelles principales
- Figure 3 Contexte géologique régional
- Figure 4 Localisation des piézomètres, des points de prélèvements d'air ambiant et des points de prélèvement de gaz du sol
- Figure 5 Localisation des points de sondages sols
- Figure 6 Evolution du niveau statique de la nappe – décembre 1999 à mars 2011
- Figure 7 Schéma conceptuel du site mis à jour



Source : IGN n° 1721 E

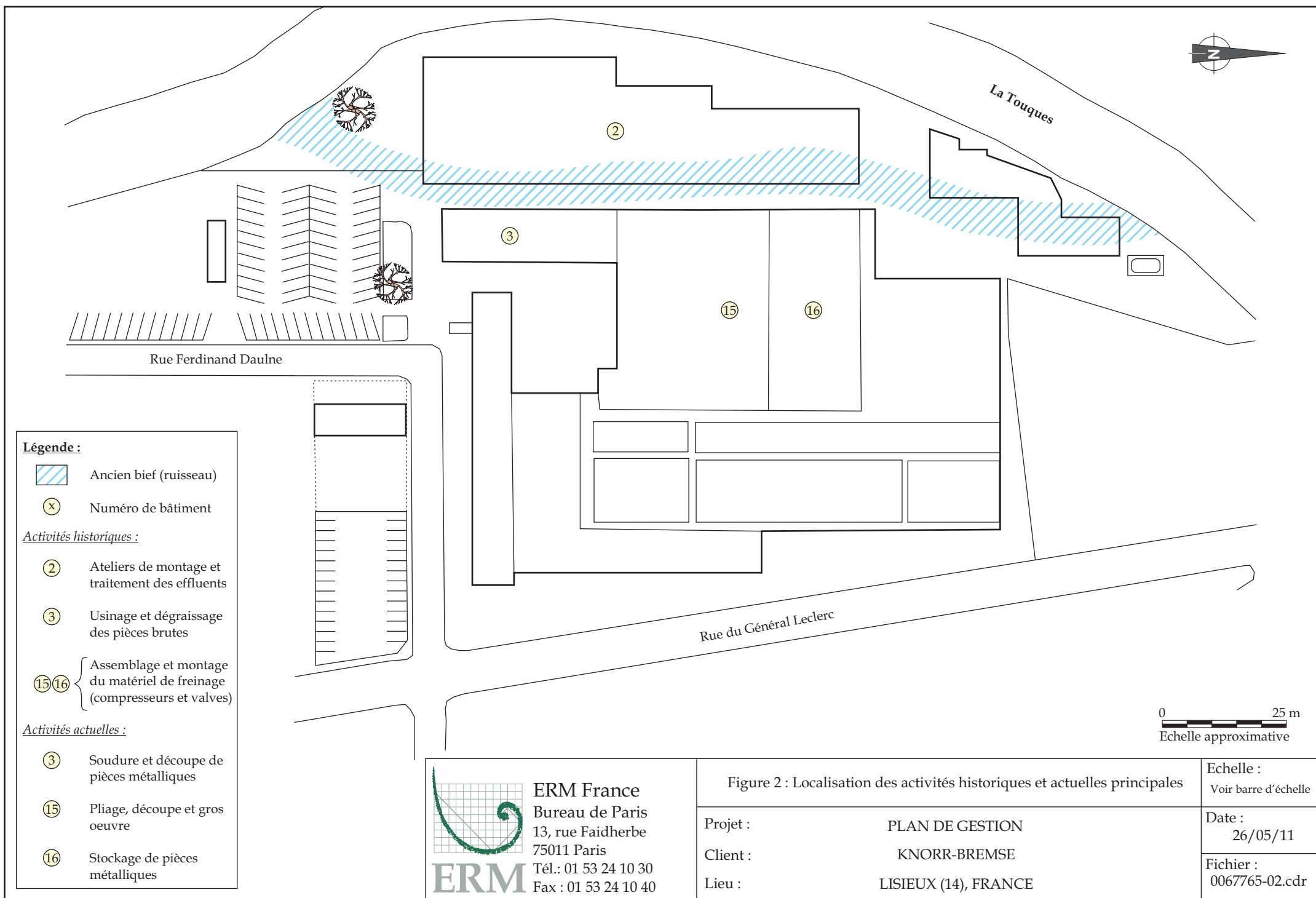










ERM France
 Bureau de Paris
 13, rue Faidherbe
 75011 Paris
 Tél.: 01 53 24 10 30
 Fax : 01 53 24 10 40

Figure 1 : Localisation du site

Projet : PLAN DE GESTION
 Client : KNORR-BREMSE
 Lieu : LISIEUX (14), FRANCE

Echelle :
 Voir barre d'échelle
 Date :
 26/05/11
 Fichier :
 0067765-01.cdr



- Légende :**
-  Ancien bief (ruisseau)
 -  Numéro de bâtiment
- Activités historiques :
-  Ateliers de montage et traitement des effluents
 -  Usinage et dégraissage des pièces brutes
 -  Assemblage et montage du matériel de freinage (compresseurs et valves)
- Activités actuelles :
-  Soudure et découpe de pièces métalliques
 -  Pliage, découpe et gros oeuvre
 -  Stockage de pièces métalliques


ERM France
 Bureau de Paris
 13, rue Faidherbe
 75011 Paris
 Tél.: 01 53 24 10 30
 Fax : 01 53 24 10 40

Figure 2 : Localisation des activités historiques et actuelles principales

Projet :	PLAN DE GESTION
Client :	KNORR-BREMSE
Lieu :	LISIEUX (14), FRANCE

Echelle :	Voir barre d'échelle
Date :	26/05/11
Fichier :	0067765-02.cdr

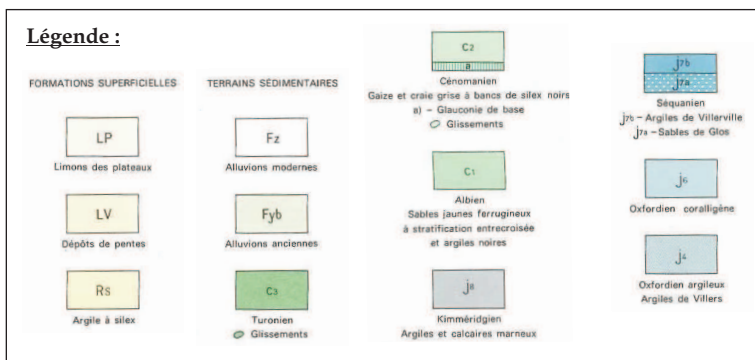
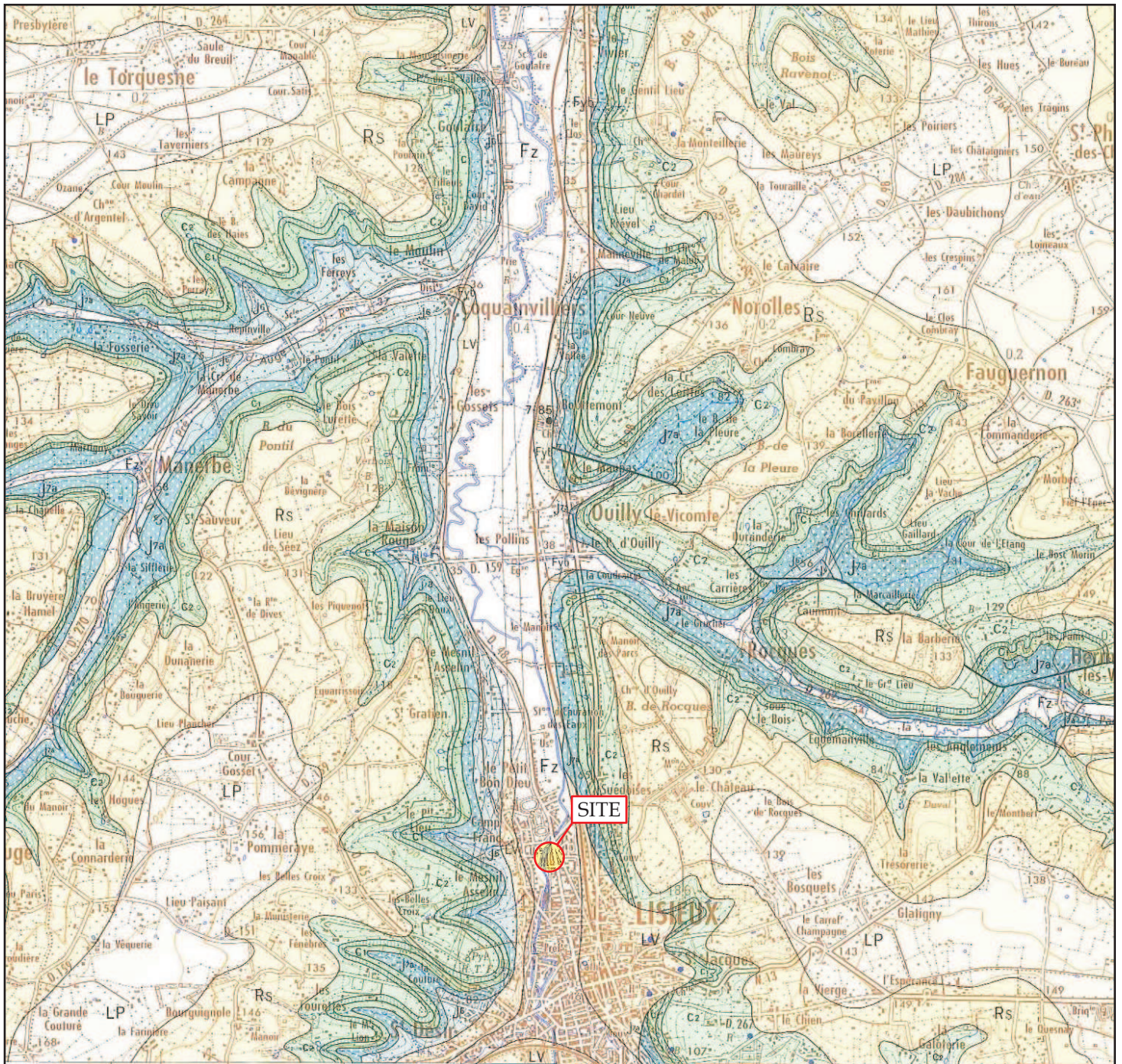
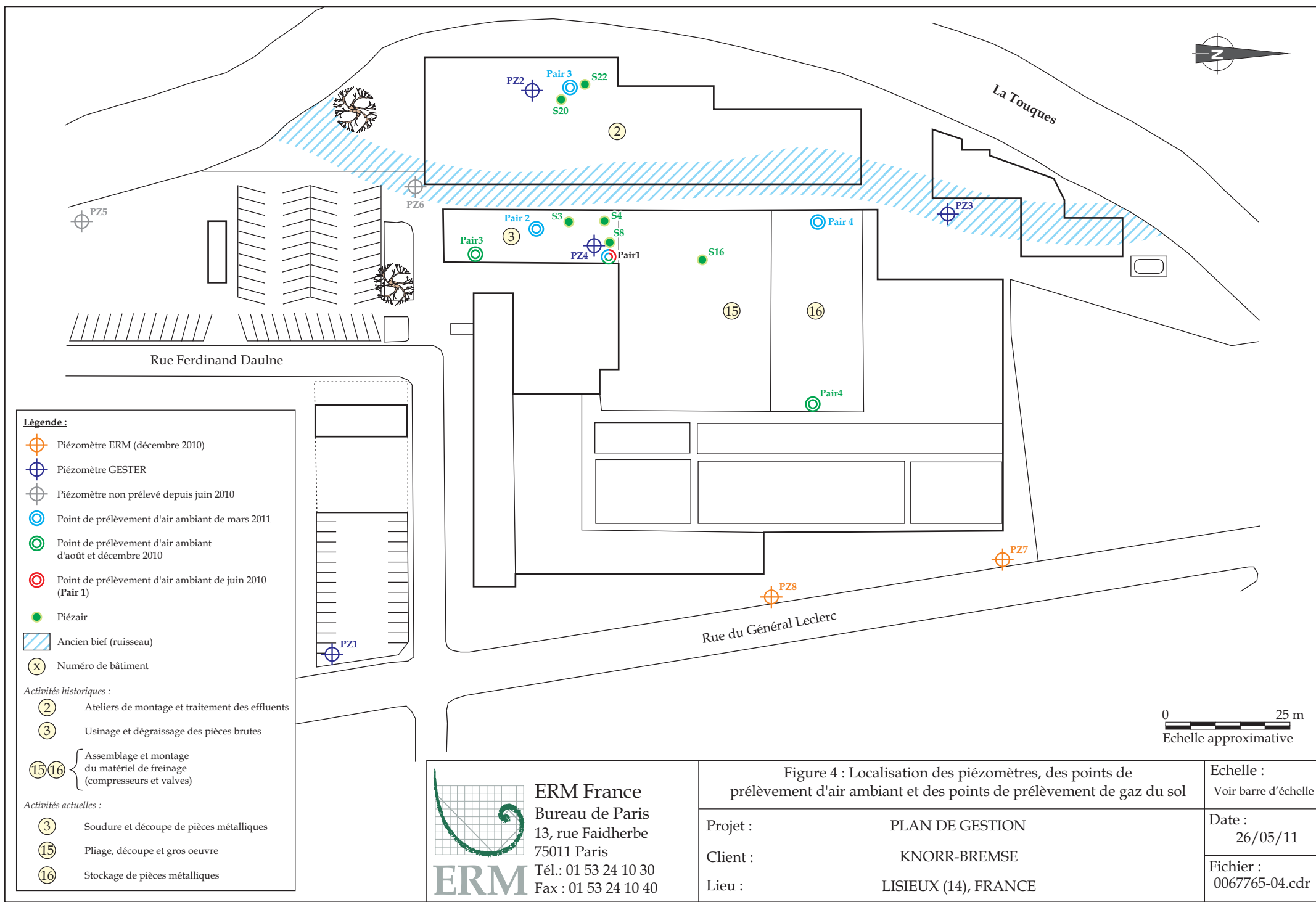


Figure 3 : Contexte géologique régional

Echelle :
Voir barre d'échelle



Légende :

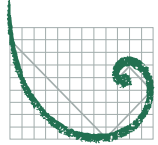
- Piézomètre ERM (décembre 2010)
- Piézomètre GESTER
- Piézomètre non prélevé depuis juin 2010
- Point de prélèvement d'air ambiant de mars 2011
- Point de prélèvement d'air ambiant d'août et décembre 2010
- Point de prélèvement d'air ambiant de juin 2010 (Pair 1)
- Piézair
- Ancien bief (ruisseau)
- Numéro de bâtiment

Activités historiques :

- Ateliers de montage et traitement des effluents
- Usinage et dégraissage des pièces brutes
- Assemblage et montage du matériel de freinage (compresseurs et valves)

Activités actuelles :

- Soudure et découpe de pièces métalliques
- Pliage, découpe et gros oeuvre
- Stockage de pièces métalliques

ERM France
 Bureau de Paris
 13, rue Faidherbe
 75011 Paris
 Tél.: 01 53 24 10 30
 Fax : 01 53 24 10 40









Figure 4 : Localisation des piézomètres, des points de prélèvement d'air ambiant et des points de prélèvement de gaz du sol


Projet :	PLAN DE GESTION
Client :	KNORR-BREMSE
Lieu :	LISIEUX (14), FRANCE

Echelle :	Voir barre d'échelle
Date :	26/05/11
Fichier :	0067765-04.cdr



Légende :

-  Piézomètre ERM (Déc. 2010)
-  Piézomètre GESTER
-  Eau de surface
-  Sondage de sol à 5 m de profondeur
-  Sondage de sol équipé en aiguille de venting
-  Sondage à 1 m
-  Sondage à 1 m équipé en piézair
-  Zone impactée

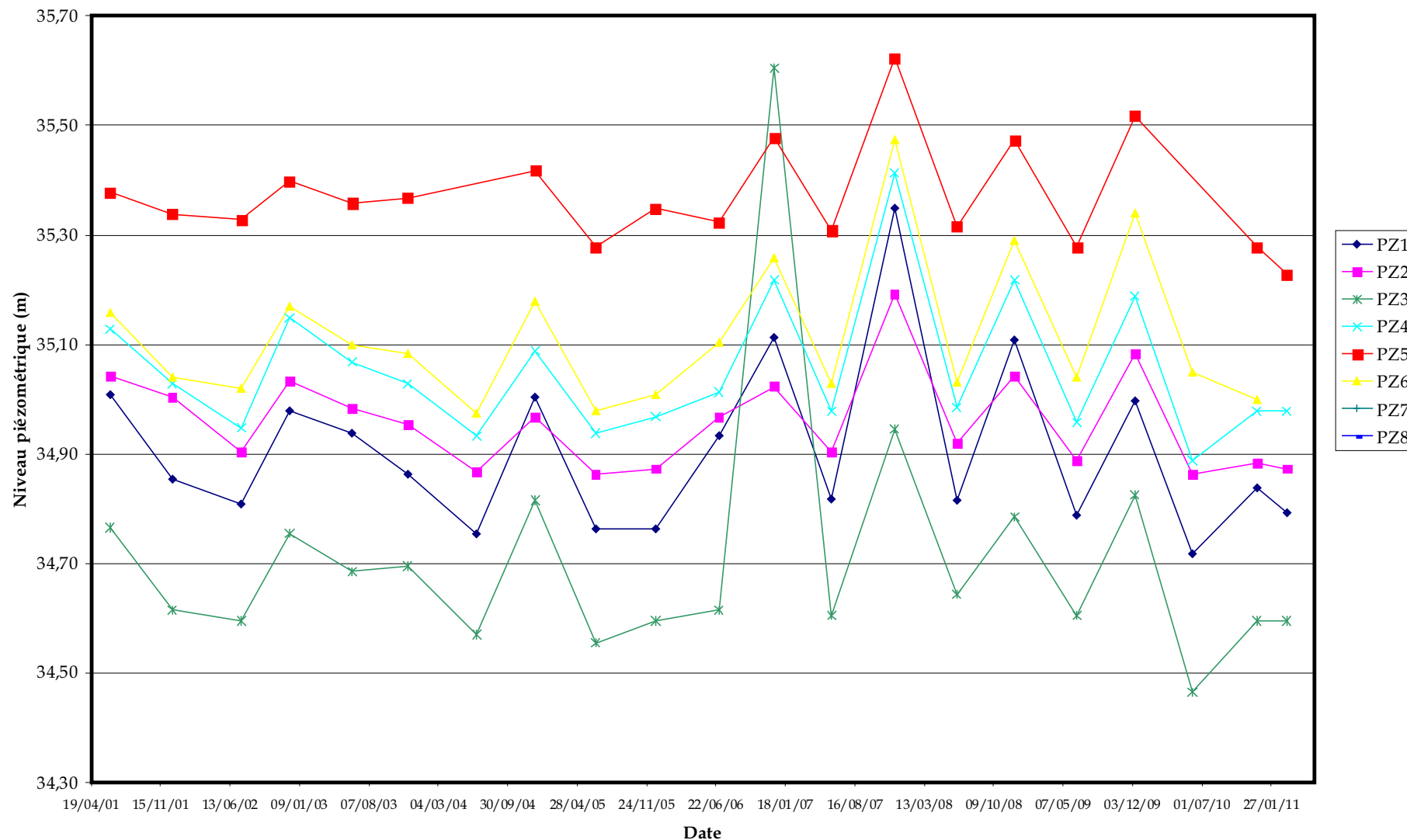
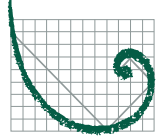


ERM France
 10, rue Fbg poissonnière
 75010 Paris
 Tél.: 01 53 24 10 30
 Fax : 01 53 24 10 40

Figure 5 : Localisation des points de sondage sol.	
Projet :	PLAN DE GESTION
Client :	KNORR BREMSE
Lieu :	LISIEUX (14), FRANCE

Echelle :	Voir barre d'échelle
Date :	25/07/11
Fichier :	0067765-05.cdr

Evolution du niveau statique de la nappe au droit du site de Lisieux

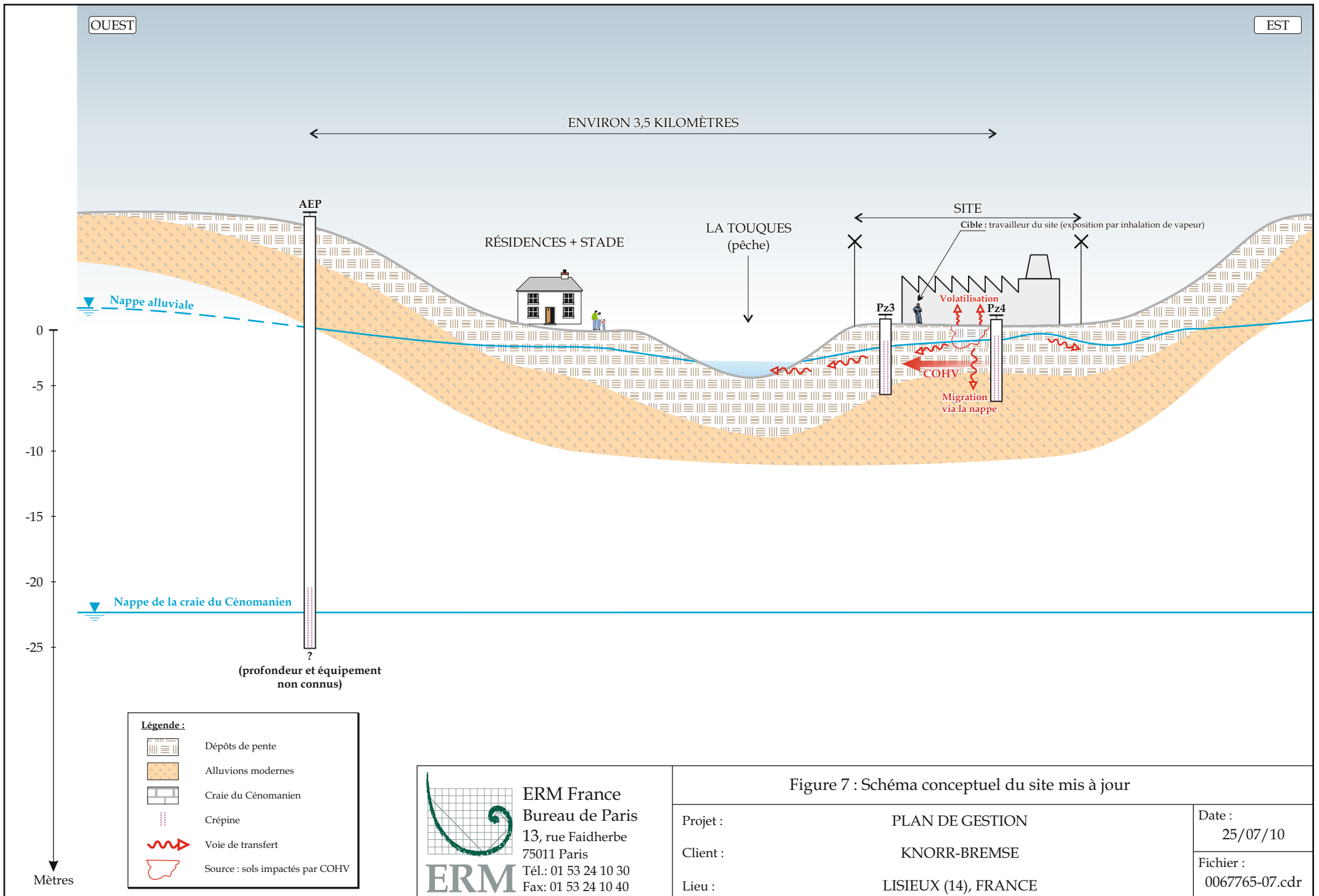



ERM France
 Bureau de Paris
 13, rue Faidherbe
 75011 Paris
 Tél.: 01 53 24 10 30
 Fax : 01 53 24 10 40

**Figure 6 : Evolution du niveau statique de la nappe
décembre 1999 à mars 2011**

Projet : PLAN DE GESTION
 Client : KNORR-BREMSE
 Lieu : LISIEUX (14), FRANCE

Echelle :
 Pas d'échelle
 Date :
 25/07/11
 Fichier :
 0067765-06.cdr



TABLEAUX

Tableau 1A à 1Q	Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à juin 2010
Tableau 2A à 2B	Résultats des analyses de l'air ambiant de juin 2010 à mars 2011

Tableau 1A - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 05 novembre 1998

	Unité	Limite de détection	VCI Usage sensible	VCI Usage non sens.	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	-	29	4			
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	-	21,8	4,5			
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	-	-	-			
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			-	-	-			
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	1,4	-			
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	14	-	12			

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 09 août 1999

	Unité	Limite de détection	VCI Usage sensible	VCI Usage non sens.	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50				77,3		
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50				5,6		
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250				50,3		
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1						-		
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000				1		
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000				779		

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Tableau 1B - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 28 septembre 1999

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	2,8	14,1	-	142		
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	9	4,5	0,3	531		
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	-	-	22	2802		
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			-	-	-	84		
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	0,2	0,2	-	5,3		
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	500	560	15 200	49 910		

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 27 octobre 1999

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,92	78,7	1,88	871	-	0,96
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	0,53	51,6	0,64	463	-	1,84
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	-	96,9	13,1	2542	-	-
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			-	-	-	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	0,2	0,2	-	30,3	-	-
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	80	60	240	13 330	80	220

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Tableau 1C - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 07 décembre 1999

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	4,8	0,6	-	30	-	2,4
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	1,3	0,4	-	120	-	3,1
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	-	-	-	-	-	-
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	-	-	20	-	-
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	20	10	10	100	-

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 14 juin 2001

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	27	11	8,6	5100	0,2	15
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	9,7	0,44	2,6	4000	0,2	5,3
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	4,8	2,4	44	6600	0,1	1,8
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1	-	-	0,29	1	12	250	0,8	2,2
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	-	-	170	1	-
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	-	-	-	-

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Tableau 1D - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 19 décembre 2001

	Unité	Limite de détection	VCI Usage sensible	VCI Usage non sens.	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,32	1	-	5900	-	-
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	0,47	0,15	-	3200	-	-
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	1,4	1,2	35	7800	-	0,72
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			0,13	1,2	12	200	5,7	1,7
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	-	-	150	2,4	-
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	-	-	-	-

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 17 juillet 2002

	Unité	Limite de détection	VCI Usage sensible	VCI Usage non sens.	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,37	0,51	0,42	5600	-	-
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	0,37	-	0,21	980	-	0,96
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	0,82	1,1	4	470	-	1,2
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			0,15	0,67	1,3	130	4,5	2
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	-	-	110	3,8	-
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	80	-	-	-

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Tableau 1E - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 10 décembre 2002

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,3	0,27	0,22	30000	0,67	0,24
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	60	58	0,31	7600	-	0,41
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	0,39	0,37	8,1	9900	-	2,4
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			0,13	0,14	4,9	420	0,89	1,9
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	-	-	750	9,3	-
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	97	210	-	-

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 18 juin 2003

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,31	84	0,26	19000	-	1,4
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	170	13	0,66	22000	-	0,91
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	0,42	36	24	14000	-	2,5
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			-	12	8,2	710	2	5,6
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	1,1	0,13	360	9,4	0,28
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	180	210	-	51

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Tableau 1F - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 02 décembre 2003

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	-	100	-	11000	-	0,24
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	8,6	17	0,23	18000	-	1,2
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	0,16	76	6	12000	0,18	12
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			-	17	4	530	1	4,1
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	1,2	-	89	6,3	0,15
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	430	170	-	-

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 28 juin 2004

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,3	110	0,2	11000	na	0,1
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	9,3	13	0,37	23000	na	0,26
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	1,4	57	14	17000	na	1,9
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			0,1	12	5,4	610	na	3,8
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	1,2	-	120	na	-
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	92	180	na	70

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection
 na Non analysé (piézomètre inaccessible)

Tableau 1G - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 22 juin 2005

	Unité	Limite de détection	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
			Usage sensible	Usage non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Perchloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	4,3	13	0,52	25000	-	1,3
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	2,9	3	0,37	13000	-	0,83
Cis1,2-Dichloroéthylène (DCE)	µg/L	0,1	50	250	1,3	14	5,9	13000	0,18	2,3
1,1-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1			-	8	3,7	410	0,69	5
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	-	-	470	8,3	0,45
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	390	110	-	270

 Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Teneur inférieure à la limite de détection

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 21 décembre 2005

	Unité	Limite de détection	VCI		PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6
			sensible	non sens.						
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	2,2	5,1	1,2	20 000	-	0,29
Tetrachloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	1,9	57	1,2	22 000	-	0,13
1,1-Dichloroéthane (Ethylidene chloride)	µg/L				0,15	8	4,2	530	0,75	3,9
1,2-Dichloroéthane (DCA)	µg/L	0,1	3	15	-	-	0,45	<10	-	-
1,1,1-Trichloroéthane (TCA)	µg/L	0,1	2000	10000	-	0,57	-	370	2,1	-
cis-1,2-Dichloroéthylène (DCE, cis)	µg/L		50	250	1,6	26	12	14 000	0,3	1,7
trans 1,2-Dichloroéthane	µg/L	0,1			-	0,82	0,8	54	-	-
Huile Minérale										
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	100	940	-	67

 Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Valeur inférieure à la limite de quantification

Tableau 1H - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 30 juin 2006

	Unité	Limite de détection	VCI sensible	VCI non sensible	PZ 1	PZ 4	PZ 3	PZ 2	PZ 5	PZ 6
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Tetrachlorométhane	µg/L	0,1	2	10	-	-	-	-	0,62	-
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	0,34	6300	0,23	1,3	0,12	0,78
Tetrachloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,69	38000	0,13	18	-	4,9
1,1-Dichloroéthane (DCA, 11)	µg/L	0,1	-	-	-	170	4,6	5,4	0,24	3,8
1,2-Dichloroéthane (DCA, 12)	µg/L	0,1	3	15	-	-	0,22	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane (TCA, 111)	µg/L	0,1	2000	10000	-	900	-	0,22	3,8	0,45
cis1,2-Dichloroéthène (DCE, cis)	µg/L	0,1	50	250	0,21	6900	9,1	2,7	0,22	2,1
trans 1,2-Dichloroéthène (DCE, trans)	µg/L	0,1	-	-	-	30	0,59	0,17	-	-
cis+trans 1,2-Dichloroéthènes (somme)	µg/L	0,1	-	-	0,21	6930	9,7	2,8	0,22	2,1
Chlorure de vinyle	µg/L	0,1	0,5	2,5	-	2000	-	27	-	-
Huile minérale										
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	200	120	-	-	-

	Concentration > VCI usage sensible
	Concentration > VCI usage non sensible
-	Valeur inférieure à la limite de quantification
na	Non analysé

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 15 décembre 2006

	Unité	Limite de détection	VCI sensible	VCI non sensible	PZ 1	PZ 2	PZ 3	PZ 4	PZ 5	PZ 6	PZ 12*+	PZ 14**
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)												
Tetrachlorométhane	µg/L	0,1	2	10	-	-	-	-	-	-	-	-
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	0,2	2,6	1,1	2700	-	1,7	3,1	1200
Tetrachloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,21	62	58	38000	-	3,2	76	60000
1,1-Dichloroéthane (DCA, 11)	µg/L	0,1	-	-	-	12	7,3	150	0,42	4,6	13	140
1,2-Dichloroéthane (DCA, 12)	µg/L	0,1	3	15	-	-	-	-	-	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane (TCA, 111)	µg/L	0,1	2000	10000	-	1,3	0,15	1100	7,1	1,3	1,5	1800
cis1,2-Dichloroéthène (DCE, cis)	µg/L	0,1	50	250	-	6,3	22	6300	0,12	1,9	6,9	3700
trans 1,2-Dichloroéthène (DCE, trans)	µg/L	0,1	-	-	-	0,25	1,4	26	-	-	0,3	20
cis+trans 1,2-Dichloroéthènes (somme)	µg/L	0,1	-	-	-	6,5	23	6300	0,12	1,9	7,2	3700
Dichlorométhane	µg/L	0,1	20	100	0,11	0,14	0,17	-	0,13	-	0,14	-
Trichlorométhane	µg/L	0,1	100	500	-	-	-	-	0,11	-	-	-
1,1,2-Trichloroéthane	µg/L	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorure de vinyle	µg/L	0,1	0,5	2,5	na	50	380	1200	na	na	55	280
Huile minérale												
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	-	60	-	-	na	na

* doublon Pz2

** doublon Pz4

	Concentration > VCI usage sensible
	Concentration > VCI usage non sensible
-	Valeur inférieure à la limite de quantification
na	Non analysé

Tableau 1I - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 7 juin 2007

	Unité	Limite de détection	VCI sensible	VCI non sensible	PZ 1	PZ 2	PZ 3	PZ 4	PZ 5	PZ 6
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Dichlorométhane	µg/L	0,1	20	100	-	-	-	-	-	0,1
Trichlorométhane	µg/L	0,1	100	500	-	-	-	-	-	-
Tetrachlorométhane	µg/L	0,1	2	10	-	-	-	-	-	-
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	0,2	8,2	1,3	14000	-	0,34
Tetrachloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,23	70	3,1	21000	-	0,34
1,1-Dichloroéthane	µg/L	0,1	-	-	-	9,7	6,6	320	0,57	2,7
1,2-Dichloroéthane	µg/L	0,1	3	15	-	-	-	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane	µg/L	0,1	2000	10000	-	0,75	-	410	6,1	0,1
1,1,2-Trichloroéthane	µg/L	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
cis-1,2-Dichloroéthène	µg/L	0,1	50	250	0,27	7,5	18	15000	-	1,4
trans-1,2-Dichloroéthène	µg/L	0,1	-	-	-	0,3	1	56	-	-
cis+trans 1,2-Dichloroéthènes (somme)	µg/L	0,1	-	-	0,27	7,8	19	15000	-	1,4
Hydrocarbures Chlorés (totals)	µg/L	0,1	-	-	0,7	96	30	51000	6,6	4,9
Chlorure de vinyle	µg/L	-	0,5	2,5	na	34	210	1800	na	na
Huile minérale										
Hydrocarbures totaux (HCT)	µg/L	50	10	1000	-	-	470	250	-	-

	Concentration > VCI usage sensible
	Concentration > VCI usage non sensible
-	Valeur inférieure à la limite de quantification
na	Non analysé

Tableau 1J - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 13 décembre 2007

Analyse	Unité	Limite de détection	VCI sensible	VCI non sensible	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)										
Dichlorométhane	µg/L	0,1	20	100	0,19	0,18	0,17	-	-	0,19
Trichlorométhane	µg/L	0,1	100	500	-	-	0,13	-	-	-
Tetrachlorométhane	µg/L	0,1	2	10	-	-	-	-	-	-
Trichloroéthylène (TCE)	µg/L	0,1	10	50	0,13	1,4	1,4	1300	0,15	1,4
Tetrachloroéthylène (PCE)	µg/L	0,1	10	50	0,33	17	15	31000	1,7	3,2
1,1-Dichloroéthane	µg/L	0,1	-	-	-	9,4	2,4	110	0,26	3
1,2-Dichloroéthane	µg/L	0,1	3	15	-	-	-	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane	µg/L	0,1	2000	10000	-	0,21	0,64	610	3,9	0,74
1,1,2-Trichloroéthane	µg/L	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
cis1,2-Dichloroéthène	µg/L	0,1	50	250	0,14	5,2	4,9	3700	0,16	1,7
trans 1,2-Dichloroéthène	µg/L	0,1	-	-	-	0,34	0,27	-	-	-
cis+trans 1,2-Dichloroéthènes (somme)	µg/L	0,1	-	-	0,14	5,5	5,2	3700	0,16	1,7
Hydrocarbures Chlorés (totals)	µg/L	0,1	-	-	0,79	34	25	37000	6,1	10
Chlorure de vinyle	µg/L	-	0,5	2,5	-	36	27	540	-	0,33
Huile minérale										
Huile Minérale Fract. (C10-C16)	µg/L	-	-	-	-	-	36	22	-	-
Huile Minérale Fract. (C16-C22)	µg/L	-	-	-	-	-	93	31	-	-
Huile Minérale Fract. (C22-C30)	µg/L	-	-	-	-	-	110	48	-	-
Huile Minérale Fract. (C30-C40)	µg/L	-	-	-	-	-	33	29	-	-
HTP (GC) (C10-C40)	µg/L	40	10	1000	-	-	270	130	-	-

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 - Valeur inférieure à la limite de quantification

Tableau 1K- Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 19 juin 2008

Analyse	Unité	Limite de détection	VCI sensible	VCI non sensible	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Hydrocarbures Chloré Organiques Volatile										
Dichlorométhane	µg/L	0,1	20	100	<0,10	<0,10	<0,10	<10	<0,10	0,21
Trichlorométhane	µg/L	0,1	100	500	<0,10	<0,10	<0,10	<10	<0,10	<0,10
Tétrachlorométhane	µg/L	0,1	2	10	<0,10	<0,10	<0,10	<10	<0,10	<0,10
Trichloroéthylène	µg/L	0,1	10	50	0,25	20	0,69	13000	<0,10	0,11
Tétrachloroéthylène	µg/L	0,1	10	50	0,44	57	3,4	26000	<0,10	0,21
1,1-Dichloroéthane	µg/L	0,1			<0,10	2,8	7,3	330	0,39	0,65
1,2-Dichloroéthane	µg/L	0,1	3	15	<0,10	<0,10	<0,10	<10	<0,10	<0,10
1,1,1-Trichloroéthane	µg/L	0,1	2000	10000	<0,10	0,56	<0,10	330	2,4	<0,10
1,1,2-Trichloroéthane	µg/L	0,1			<0,10	<0,10	<0,10	<10	<0,10	<0,10
cis1,2-Dichloroéthylène	µg/L	0,1	50	250	0,41	14	18	12000	0,23	0,44
trans 1,2-Dichloroéthène	µg/L	0,1			<0,10	0,16	1,1	50	<0,10	<0,10
cis+trans 1,2-Dichloroéthènes (somme)	µg/L	0,1			0,41	14	19	12000	0,23	0,44
Hydrocarbures Chlorés (totaux)	µg/L	0,1			1,1	95	31	51000	3,1	1,6
Chlorure de vinyle	µg/L	0,1	0,5	2,5	<0,10	12	370	3400	<0,10	0,13
Huile minérale										
Huile Minérale Fract. (C10-C16)	µg/L				-	-	-	19	-	-
Huile Minérale Fract. (C16-C22)	µg/L				-	-	-	18	-	-
Huile Minérale Fract. (C22-C30)	µg/L				-	-	-	26	-	-
Huile Minérale Fract. (C30-C40)	µg/L				-	-	-	14	-	-
HCT (GC) (C10-C40)	µg/L	40	10	1000	<40	<40	<40	77	<40	<40

Concentration > VCI usage sensible
 Concentration > VCI usage non sensible
 <0,10 Valeur inférieure à la limite de quantification

Tableau 1L- Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 11 décembre 2008

Analyse	Unité	VCI sensible	VCI non sensible	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Hydrocarbures Chloré Organiques Volatile									
Dichlorométhane	µg/L	20	100	-	-	-	-	-	-
Trichlorométhane	µg/L	100	500	-	-	-	-	0,1	-
Tetrachlorométhane	µg/L	2	10	-	-	-	-	-	-
Trichloroéthylène	µg/L	10	50	0,13	0,22	0,4	4500	-	0,9
Tetrachloroéthylène	µg/L	10	50	0,19	1,1	0,74	21000	-	2,2
1,1-Dichloroéthane	µg/L	-	-	-	1,1	5,7	140	0,51	1,8
1,2-Dichloroéthane	µg/L	3	15	-	-	-	-	-	-
1,1,1-Trichloroéthane	µg/L	2000	10000	-	-	0,17	280	6,8	0,37
1,1,2-Trichloroéthane	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
cis1,2-Dichloroéthylène	µg/L	50	250	0,19	0,53	16	8500	-	1,1
trans 1,2-Dichloroéthène	µg/L	-	-	-	-	0,97	34	-	-
cis+trans 1,2-Dichloroéthènes (somme)	µg/L	-	-	-	0,53	17	8600	-	1,1
Hydrocarbures Chlorés (totaux)	µg/L	-	-	-	2,9	24	35000	7,4	6,3
Chlorure de vinyle	µg/L	0,5	2,5	-	4,3	260	2400	-	0,49
Huile minérale									
Huile Minérale Fract. (C10-C12)	µg/L	-	-	-	-	-	5,7	-	-
Huile Minérale Fract. (C12-C16)	µg/L	-	-	-	-	-	7,7	-	-
Huile Minérale Fract. (C16-C21)	µg/L	-	-	-	-	-	15	-	-
Huile Minérale Fract. (C21-C30)	µg/L	-	-	-	-	-	40	-	-
Huile Minérale Fract. (C30-C35)	µg/L	-	-	-	-	-	13	-	-
Huile Minérale Fract. (C35-C40)	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Huile Minérale Fract. (C10-C40)	µg/L	10	1000	-	-	-	86	-	-

25 Concentration > VCI usage sensible
 25 Concentration > VCI usage non sensible
 - Valeur inférieure à la limite de quantification

Tableau 1M- Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 18 juin 2009

Analyse	Unité	VCI	VCI	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
		sensible	non sensible						
Hydrocarbures Chloré Organiques Volatile									
Dichlorométhane	µg/L	20	100	<0,1	<0,1	<0,1	<10	<0,1	<0,1
Trichlorométhane	µg/L	100	500	<0,1	<0,1	<0,1	<10	<0,1	<0,1
Tetrachlorométhane	µg/L	2	10	<0,1	<0,1	<0,1	<10	<0,1	<0,1
Trichloroéthylène	µg/L	10	50	0,18	0,23	0,23	3000	<0,1	0,2
Tetrachloroéthylène	µg/L	10	50	0,2	3	<0,1	20000	<0,1	0,36
1,1-Dichloroéthane	µg/L	pdv	pdv	<0,1	0,62	5,8	110	1,3	1,3
1,2-Dichloroéthane	µg/L	3	15	<0,1	<0,1	<0,1	<10	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichloroéthane	µg/L	2000	10000	<0,1	<0,1	<0,1	190	4,2	<0,1
1,1,2-Trichloroéthane	µg/L	pdv	pdv	<0,1	<0,1	<0,1	<10	<0,1	<0,1
cis1,2-Dichloroéthylène	µg/L	50	250	0,38	0,46	14	5400	<0,1	0,89
trans 1,2-Dichloroéthène	µg/L	pdv	pdv	<0,1	<0,1	0,83	25	<0,1	<0,1
cis+trans 1,2-Dichloroéthènes (somme)	µg/L	pdv	pdv	0,38	0,46	14	5400	<0,2	0,89
Hydrocarbures Chlorés (totaux)	µg/L	pdv	pdv	<1,1	4,3	20	29000	5,5	2,7
Chlorure de vinyle	µg/L	0,5	2,5	<0,1	2,1	210	2000	<0,1	0,27
Huile minérale									
Huile Minérale Fract. (C10-C12)	µg/L	pdv	pdv	-/-	<3	<3	4,6	-/-	<3
Huile Minérale Fract. (C12-C16)	µg/L	pdv	pdv	-/-	<5	5,1	47	-/-	<5
Huile Minérale Fract. (C16-C21)	µg/L	pdv	pdv	-/-	<6	12	130	-/-	6,6
Huile Minérale Fract. (C21-C30)	µg/L	pdv	pdv	-/-	33	22	300	-/-	46
Huile Minérale Fract. (C30-C35)	µg/L	pdv	pdv	-/-	12	<6	130	-/-	16
Huile Minérale Fract. (C35-C40)	µg/L	pdv	pdv	-/-	<6	<6	34	-/-	<6
Huile Minérale Fract. (C10-C40)	µg/L	10	1000	<38	57	48	640	<38	77

25	Concentration > VCI usage sensible
25	Concentration > VCI usage non sensible

 - Valeur inférieure à la limite de quantification

Tableau 1N- Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 10 décembre 2009

Analyse	Unité	VCI		Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
		sensible	non sensible						
Hydrocarbures Chloré Organiques Volatile									
Dichlorométhane	µg/L	20	100	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Trichlorométhane (Chloroforme)	µg/L	100	500	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Tétrachlorométhane (Tétrachlorure de carbone)	µg/L	2	10	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Trichloroéthylène	µg/L			<1	<1	<1	855	<1	2.1
Tétrachloroéthylène	µg/L	10	50	<1	1.3	1.0	5700	<1	3.5
1,1-dichloroéthane	µg/L	2,4	12	<2	<2	7.3	42.3	<2	2.3
1,2-dichloroéthane	µg/L	3	15	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1,1-trichloroéthane	µg/L	200	1000	<2	<2	<2	23.4	7.1	<2
1,1,2-trichloroéthane	µg/L	5	25	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cis 1,2-dichloroéthylène	µg/L	70	350	<2	<2	16.6	1490	<2	<2
Trans 1,2-dichloroéthylène	µg/L	100	500	<2	<2	<2	7.7	<2	<2
Chlorure de vinyle	µg/L	0,5	2,5	<0.5	1.90	206	463	<0.5	<0.5
1,1-dichloroéthylène	µg/L	7	35	<2	<2	<2	4.6	<2	<2
Bromochlorométhane	µg/L	0,5	2,5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Dibromométhane	µg/L	pdv	pdv	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Bromodichlorométhane	µg/L	pdv	pdv	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Dibromochlorométhane	µg/L	100	500	<2	<2	<2	<2	<2	<2
1,2-dibromoéthane	µg/L	pdv	pdv	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tribromométhane (Bromoforme)	µg/L	100	500	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Huile minérale									
HTP (GC) (C10-C40)	mg/L	0,01	1	<0.03	<0.03	0.03	0.08	<0.03	<0.03
Huile Minérale Fract. (C10-C16)	mg/L	pdv	pdv	<0.008	<0.008	0.011	0.016	<0.008	<0.008
Huile Minérale Fract. (C16-C22)	mg/L	pdv	pdv	<0.008	<0.008	0.008	0.020	<0.008	<0.008
Huile Minérale Fract. (C22-C30)	mg/L	pdv	pdv	<0.008	<0.008	<0.008	0.027	<0.008	<0.008
Huile Minérale Fract. (C30-C40)	mg/L	pdv	pdv	<0.008	<0.008	<0.008	0.015	<0.008	<0.008

25 Concentration > VCI usage sensible
 25 Concentration > VCI usage non sensible
 <0,1 Valeur inférieure à la limite de quantification
 pdv Pas de valeur guide

Tableau 10 - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 2 juin 2010

Paramètres	Unités	VCI		Valeurs guides OMS (*)	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4
		sensible	non sensible					
Hydrocarbures Totaux (HCT)								
Indice hydrocarbure (C10-C40)	mg/l	0.01	1	1	<0.03	<0.03	0.09	0.03
C10-C16 (calcul)	mg/l	pdv	pdv	pdv	<0.008	<0.008	<0.008	<0.008
>C16-C22 (calcul)	mg/l	pdv	pdv	pdv	<0.008	<0.008	0.031	<0.008
>C22-C30 (calcul)	mg/l	pdv	pdv	pdv	<0.008	<0.008	0.042	0.013
>C30-C40 (calcul)	mg/l	pdv	pdv	pdv	<0.008	<0.008	0.013	<0.008
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)								
Dichlorométhane	µg/l	20	100	20	<5.0	<5	<5	<100
Trichlorométhane (Chloroforme)	µg/l	100	500	300	<2	<2	<2	<2
Tétrachlorométhane (Tétrachlorure de carbone)	µg/l	2	10	4	<1	<1	<1	<1
Trichloroéthylène	µg/l	10	50	70	<1	<1	5.2	1200
Tétrachloroéthylène	µg/l	10	50	20	<1	1.1	<1	2820
1,1-dichloroéthane	µg/l	2.4	12	pdv	<2	<2	4.8	48.6
1,2-dichloroéthane	µg/l	3	15	30	<1	<1	<1	<1
1,1,1-trichloroéthane	µg/l	200	1000	pdv	<2	<2	<2	14.1
1,1,2-trichloroéthane	µg/l	5	25	pdv	<5	<5	<5	<5
Cis 1,2-dichloroéthylène	µg/l	70	350	50	<2	<2	22.7	3270
Trans 1,2-dichloroéthylène	µg/l	100	500	50	<2	<2	<2	13.1
Chlorure de vinyle	µg/l	0.5	2.5	0.3	<0.5	1.02	144	832
1,1-dichloroéthylène	µg/l	7	35	pdv	<2	<2	<2	7
Bromochlorométhane	µg/l	0.5	2.5	pdv	<5	<5	<5	<5
Dibromométhane	µg/l	pdv	pdv	pdv	<5	<5	<5	<5
Bromodichlorométhane	µg/l	pdv	pdv	pdv	<5	<5	<5	<5
Dibromochlorométhane	µg/l	100	500	pdv	<2	<2	<2	<2
1,2-dibromoéthane	µg/l	pdv	pdv	pdv	<1	<1	<1	<1
Tribromométhane (Bromoforme)	µg/l	100	500	pdv	<5	<5	<5	<5

(*) OMS drinking water guideline (2006) - à titre indicatif

25	Concentration > VCI usage sensible
25	Concentration > VCI usage non sensible
<0,1	Valeur inférieure à la limite de quantification
pdv	Pas de valeur guide

Tableau 1P - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine les 13 et 14 décembre 2010

Paramètres	Unités	Valeur de comparaison	Source	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ7	PZ8
Hydrocarbures Totaux (HCT)									
Indice hydrocarbure (C10-C40)	mg/l	1	(a)	<0,03	<0,03	0,06	0,06	<0,03	0,19
C10-C16 (calcul)	mg/l	-		<0,008	<0,008	0,009	0,01	<0,008	<0,008
>C16-C22 (calcul)	mg/l	-		<0,008	<0,008	0,027	0,017	<0,008	0,04
>C22-C30 (calcul)	mg/l	-		<0,008	<0,008	0,017	0,023	<0,008	0,11
>C30-C40 (calcul)	mg/l	-		<0,008	<0,008	<0,008	0,014	<0,008	0,03
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)									
Dichlorométhane	µg/l	20	(g)	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Trichlorométhane (Chloroforme)	µg/l	10	(e)	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Tétrachlorométhane (Tétrachlorure de carbone)	µg/l	2	(e)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Trichloroéthylène (TCE)	µg/l	10	(b)	45,6	18,5	16	3360	60,6	<1
Perchloroéthylène (PCE)	µg/l	10	(b)	<1	<1	<1	6810	237	<1
1,1-dichloroéthane (1,1-DCA)	µg/l	2,4	(i)	<2	<2	8,9	161	2,7	<2
1,2-dichloroéthane (1,2-DCA)	µg/l	3	(b)	<1	<1	<1	<1	<1	<1
1,1,1-trichloroéthane (1,1,1-TCA)	µg/l	200	(e)	<2	<2	<2	58,4	<2	<2
1,1,2-trichloroéthane (1,1,2-TCA)	µg/l	5	(g)	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cis 1,2-dichloroéthylène (cis 1,2-DCE)	µg/l	70	(g)	<2	<2	23,5	7210	62,2	6,3
Trans 1,2-dichloroéthylène	µg/l	100	(g)	<2	<2	<2	34,2	<2	<2
Chlorure de vinyle (CV)	µg/l	0,5	(b)	<0,5	1,62	253	1720	0,88	1640
1,1-dichloroéthylène (1,1-DCE)	µg/l	7	(g)	<2	<2	<2	22,7	<2	<2
Bromochlorométhane	µg/l	0,5	(b)	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Dibromométhane	µg/l	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Bromodichlorométhane	µg/l	-	-	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Dibromochlorométhane	µg/l	100	(f)	<2	<2	<2	<2	<2	<2
1,2-dibromoéthane	µg/l	-	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tribromométhane (Bromoforme)	µg/l	100	(f)	<5	<5	<5	<5	<5	<5

Légende: **en gras** Concentration supérieure à la valeur de comparaison

- Source des valeurs de comparaison: (a) Limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.
 (b) Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (Valeurs identiques à celles de la directive EU 98/83/CE)
 (c) Références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (Valeurs identiques à celles de la directive EU 98/83/CE)
 (d) Circulaire du 21 décembre 2006 (transcription du DCE)
 (e) Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (qualité acceptable pour être consommée)
 (f) OMS drinking water guideline (2006)
 (g) EPA National primary drinking standards (2007) : MCL or TTI
 (h) EPA National primary drinking standards (2007) : Public health goal
 (i) EPA National primary drinking standards (2007) : Risk based concentration, Regions 3-6-9

Tableau 1Q - Résultats des analyses des eaux souterraines de novembre 1998 à mars 2011

Concentrations analysées dans les échantillons d'eau souterraine le 14 mars 2011

Paramètres	Unités	Valeur de comparaison	Source	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ7	PZ8
Composés Organiques Halogénés Volatils (COHV)									
Chlorure de vinyle (CV)	µg/l	0,5	(b)	<0,5	4,8	160	1600	<0,5	580
Dichlorométhane	µg/l	20	(g)	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<0,5	<0,5
Cis 1,2-dichloroéthylène (cis 1,2-DCE)	µg/l	70	(g)	<0,5	<0,6	9,1	8000	47	74
Trans 1,2-dichloroéthylène	µg/l	100	(g)	<0,5	<0,5	0,6	27	<0,5	1
Trichlorométhane (Chloroforme)	µg/l	10	(e)	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<0,5	<0,5
1,1,1-trichloroéthane (1,1,1-TCA)	µg/l	200	(e)	<0,5	<0,5	<0,5	31	<0,5	<0,5
Tétrachlorométhane (Tétrachlorure de carbone)	µg/l	2	(e)	<0,5	<0,5	<0,5	<5	<0,5	<0,5
Trichloroéthylène (TCE)	µg/l	10	(b)	<0,7	1,2	<0,5	4200	43	<0,5
Perchloroéthylène (PCE)	µg/l			<0,5	1	<0,5	5500	220	<0,5
1,1-dichloroéthane (1,1-DCA)	µg/l	2,4	(i)	<0,5	<0,5	4	130	1,3	<0,5
1,1-dichloroéthylène (1,1-DCE)	µg/l	7	(g)	<0,5	<2	<0,5	17	<0,5	<0,5

Légende: **en gras** Concentration supérieure à la valeur de comparaison

- Source des valeurs de comparaison: (a) Limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.
 (b) Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (Valeurs identiques à celles de la directive EU 98/83/CE)
 (c) Références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (Valeurs identiques à celles de la directive EU 98/83/CE)
 (d) Circulaire du 21 décembre 2006 (transcription du DCE)
 (e) Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines (qualité acceptable pour être consommée)
 (f) OMS drinking water guideline (2006)
 (g) EPA National primary drinking standards (2007) : MCL or T1
 (h) EPA National primary drinking standards (2007) : Public health goal
 (i) EPA National primary drinking standards (2007) : Risk based concentration, Regions 3-6-9

Tableau 2A : Résultats analytiques de l'air ambiant - Support Charbon actif (juin et août 2010)

Juin 2010

Débit de pompage (L/min) : 1

Paramètres	Unités	Pair 1 (bât.3)
Indice Hydrocarbures Volatils		
MeC5-C8	µg/m3	nd
>C8-C10	µg/m3	nd
>C10-C12	µg/m3	nd
Somme MeC5-C12	µg/m3	nd
Composés Organo-Halogénés Volatils		
Chlorure de vinyle	µg/m3	nd
1,1-dichloroéthylène	µg/m3	nd
Dichlorométhane	µg/m3	nd
Trans 1,2-dichloroéthylène	µg/m3	nd
1,1-dichloroéthane	µg/m3	nd
Cis 1,2-dichloroéthylène	µg/m3	nd
Bromochlorométhane	µg/m3	nd
Chloroforme	µg/m3	nd
1,1,1-trichloroéthane	µg/m3	nd
Tétrachlorure de carbone	µg/m3	nd
1,2-dichloroéthane	µg/m3	nd
Trichloroéthylène	µg/m3	nd
Dibromométhane	µg/m3	nd
Bromodichlorométhane	µg/m3	nd
Tétrachloroéthylène zone 1	µg/m3	79
Tétrachloroéthylène zone 2	µg/m3	nd
1,1,2-trichloroéthane	µg/m3	nd
Dibromochlorométhane	µg/m3	nd
1,2-dibromoéthane	µg/m3	nd
Bromoforme	µg/m3	nd

Août 2010

Débit de pompage (L/min) : 1

Temps de prélèvement (min)	478
Litres pompés	478

Temps de prélèvement (min)	478
Litres pompés	478

Temps de prélèvement (min)	474
Litres pompés	474

Temps de prélèvement (min)	474
Litres pompés	474

Paramètre	Pair 1 (bât.3)			Pair 2 (bât.3)			Pair 3 (bât.3)			Pair 4 (bât.16)		
	Résultat (µg)	Résultat (µg/L)	Résultat (µg/m ³)	Résultat	Résultat (µg/L)	Résultat (µg/m ³)	Résultat	Résultat (µg/L)	Résultat (µg/m ³)	Résultat	Résultat (µg/L)	Résultat (µg/m ³)
Composés Organo-Halogénés Volatils												
Dichlorométhane	< 2	< 0,0042	< 4,2	< 2	< 0,0042	< 4,2	< 2	< 0,0042	< 4,2	< 2	< 0,0042	< 4,2
cis-1,2-Dichloroéthylène	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4
Trichlorométhane	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4
1,1,1-Trichloroéthane	< 0,1	< 0,0002	< 0,2	< 0,1	< 0,0002	< 0,2	< 0,1	< 0,0002	< 0,2	< 0,1	< 0,0002	< 0,2
Tétrachlorométhane	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4
Trichloroéthylène	< 0,1	< 0,0002	< 0,2	< 0,1	< 0,0002	< 0,2	< 0,1	< 0,0002	< 0,2	< 0,1	< 0,0002	< 0,2
Chlorure de vinyle	< 2	< 0,0042	< 4,2	< 2	< 0,0042	< 4,2	< 2	< 0,0042	< 4,2	< 2	< 0,0042	< 4,2
1,1-Dichloroéthane	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4	< 0,2	< 0,0004	< 0,4
Tétrachloroéthylène	0,6	0,0012	1,2	0,8	0,0017	1,7	0,4	0,0008	0,8	0,5	0,0011	1,1
Somme des COHV	0,6	0,0012	1,2	0,8	0,0017	1,7	0,4	0,0008	0,8	0,5	0,0011	1,1

Tableau 2B : Résultats analytiques de l'air ambiant - Support Canisters (août 2010)

Concentration dans l'air ambiant après 8 heures d'exposition (µg/m3)	Canister Localisation	Pair 1 Bât.3	Pair 2 Bât.3	Pair 3 Bât.3	Pair 4 Bât.16
Composés volatils					
	Numéro CAS				
Freon 12	75-71-8	2,6	2,5	2,7	2,6
Freon 114	76-14-2	nd	nd	nd	nd
Chloromethane	74-87-3	1,7	1,3	1,1	3,5
Vinyl Chloride	75-01-4	nd	nd	nd	nd
1,3-Butadiene	106-99-0	nd	nd	nd	nd
Bromomethane	74-83-9	2	2,5	1,9	nd
Chloroethane	75-00-3	nd	nd	nd	0,63
Freon 11	75-69-4	1,6	1,8	1,9	1,8
Ethanol	64-17-5	25	35	15	35
Freon 113	76-13-1	nd	nd	nd	nd
1,1-Dichloroethene	75-35-4	nd	nd	nd	nd
Acetone	67-64-1	18	27	20	100
2-Propanol	67-63-0	3,1	7,3	1,9	4,8
Carbon Disulfide	75-15-0	21	40	nd	nd
3-Chloropropene	107-05-1	nd	nd	nd	nd
Methylene Chloride	75-09-2	nd	nd	nd	4,5
Methyl tert-butyl ether	1634-04-4	nd	nd	nd	nd
trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5	nd	nd	nd	nd
Hexane	110-54-3	nd	nd	nd	1,2
1,1-Dichloroethane	75-34-3	nd	nd	nd	nd
2-Butanone (Methyl Ethyl Ketone)	78-93-3	3,2	4,3	3,6	5,3
cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	nd	nd	nd	nd
Tetrahydrofuran	109-99-9	nd	nd	nd	nd
Chloroform	67-66-3	nd	nd	nd	nd
1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	nd	nd	nd	nd
Cyclohexane	110-82-7	nd	nd	nd	3
Carbon Tetrachloride	56-23-5	nd	nd	nd	nd
2,2,4-Trimethylpentane	540-84-1	nd	nd	nd	nd
Benzene	71-43-2	nd	nd	nd	nd
1,2-Dichloroethane	107-06-2	nd	nd	nd	nd
Heptane	142-82-5	0,83	1,6	nd	1,3
Trichloroethene	79-01-6	nd	nd	nd	nd
1,2-Dichloropropane	78-87-5	nd	nd	nd	nd
1,4-Dioxane	123-91-1	1,7	5,2	nd	1,9
Bromodichloromethane	75-27-4	nd	nd	nd	nd
cis-1,3-Dichloropropene	10061-01-5	nd	nd	nd	nd
4-Methyl-2-pentanone	108-10-1	nd	nd	nd	nd
Toluene	108-88-3	1,7	1,2	0,82	1,9
trans-1,3-Dichloropropene	10061-02-6	nd	nd	nd	nd
1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	nd	nd	nd	nd
Tetrachloroethene	127-18-4	3,9	1,3	0,96	nd
2-Hexanone	591-78-6	nd	nd	nd	nd
Dibromochloromethane	124-48-1	nd	nd	nd	nd
1,2-Dibromoethane (EDB)	106-93-4	nd	nd	nd	nd
Chlorobenzene	108-90-7	nd	nd	nd	nd
Ethyl Benzene	100-41-4	nd	nd	nd	7,1
m,p-Xylene	108-38-3/106-42-3	0,79	nd	nd	27
o-Xylene	95-47-6	nd	nd	nd	6,3
Styrene	100-42-5	nd	nd	nd	nd
Bromoform	75-25-2	nd	nd	nd	nd
Cumene	98-82-8	nd	nd	nd	1,4
1,1,2,2-Tetrachloroethane	79-34-5	nd	nd	nd	nd
Propylbenzene	103-65-1	nd	nd	nd	4
4-Ethyltoluene	622-96-8	nd	nd	nd	17
1,3,5-Trimethylbenzene	108-67-8	nd	nd	nd	5,3
1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	nd	nd	nd	17
1,3-Dichlorobenzene	541-73-1	nd	nd	nd	nd
1,4-Dichlorobenzene	106-46-7	nd	nd	nd	nd
alpha-Chlorotoluene	100-44-7	nd	nd	nd	nd
1,2-Dichlorobenzene	95-50-1	nd	nd	nd	nd
1,2,4-Trichlorobenzene	120-82-1	nd	nd	nd	nd
Hexachlorobutadiene	87-68-3	nd	nd	nd	nd
<u>Contrôle qualité laboratoire</u>					
1,2-Dichloroethane-d4	17060-07-0	100	100	100	97
Toluene-d8	2037-26-5	104	96	95	95
4-Bromofluorobenzene	460-00-4	106	102	102	106

nd : not detected

Tableau 2C - Résultats analytiques de l'air ambiant - Support Canisters - décembre 2010

Paramètres	Numéro CAS	Canister 1	Canister 2	Canister 3	Canister 4
Localisation		Pair1	Pair2	Pair3	Pair4
Résultats en µg/m3		Bât.3	Bât.3	Bât.3	Bât.16 *
Freon 12	75-71-8	2,1	1,8	2,2	2,2
Chloromethane	74-87-3	0,8	2,1	0,78	0,75
1,3-Butadiene	106-99-0	-	-	0,32	-
Chloroethane	75-00-3	-	1	-	-
Freon 11	75-69-4	1	1,1	1,1	1,1
Ethanol	64-17-5	470	410	870	12
Acetone	67-64-1	16	17	22	6,6
2-Propanol (i)	67-63-0	7,1	6,4	5	2,3
Methylene Chloride	75-09-2	-	-	-	1,3
Hexane	110-54-3	6,3	6	11	1
2-Butanone (Methyl Ethyl Ketone)	78-93-3	1,1	1,5	1,2	1,2
cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	0,83	0,82	0,69	-
1,1,1-Trichloroethane	71-55-6	1,2	1	0,92	-
Cyclohexane	110-82-7	12	9,5	23	5
Benzene	71-43-2	0,97	0,93	1,1	0,92
Heptane	142-82-5	56	43	100	0,8
Trichloroethene	79-01-6	2	1,4	1,5	-
1,4-Dioxane	123-91-1	0,6	-	-	-
Toluene	108-88-3	4,8	4,4	4,7	3,4
Tetrachloroethene	127-18-4	110	96	78	-
Ethyl Benzene	100-41-4	1,9	1,6	2	0,87
m,p-Xylene	108-38-3/106-42-3	4,2	4,5	5,8	3
o-Xylene	95-47-6	1,6	1,2	1,9	1,2
4-Ethyltoluene	622-96-8	-	-	0,88	-
1,2,4-Trimethylbenzene	95-63-6	-	0,84	1,1	0,97

les substances non détectées ne sont pas reportées dans ce tableau

(*) : prélèvement contrôle réalisé dans le bâtiment 16

Tableau 2D - Résultats analytiques de l'air ambiant - Support Canisters - mars 2011

Paramètres	Numéro CAS	Canister 1	Canister 2	Canister 3	Canister 4
Localisation		Pair1	Pair2	Pair3	Pair4
Résultats en µg/m3		Bât.3	Bât.3	Bât.2	Bât.16 *
Freon 12	75-71-8	1.9	2.1	2.3	2.4
Chloromethane	74-87-3	1.2	1.4	1.5	1.3
Freon 11	75-69-4	0.96	0.97	1.0	1.0
Ethanol	64-17-5	74	140	24	20
Acetone	67-64-1	6.0	6.7	64	6.1
Methylene Chloride	75-09-2	-	2.6	1.3	1.4
Hexane	110-54-3	1.5	2.3	2.7	1.1
2-Butanone (Methyl Ethyl Ketone)	78-93-3	-	-	41	-
cis-1,2-Dichloroethene	156-59-2	-	-	0.67	-
Cyclohexane	110-82-7	1.9	2.7	0.59	2.8
Benzene	71-43-2	0.84	0.88	1.0	1.0
Heptane	142-82-5	7.2	13	0.73	0.72
Trichloroethene	79-01-6	-	-	7.0	-
Toluene	108-88-3	4.0	4.3	4.5	4.4
Tetrachloroethene	127-18-4	7.7	6.6	15	13
Ethyl Benzene	100-41-4	0.71		1.4	0.96
m,p-Xylene	108-38-3/106-42-3	1.7	1.6	5.0	2.6
o-Xylene	95-47-6	-	-	1.5	0.88

les substances non détectées ne sont pas reportées dans ce tableau

(*) : prélèvement contrôle réalisé dans le bâtiment 16

ANNEXES

Rapports Technosol

ANNEXE A

Rapports Technosol

SOMMAIRE

	Page
1. PRESENTATION GENERALE - DEFINITION DE LA MISSION	3
2. SITE.....	3
3. PROJET	4
4. RESULTATS OBTENUS	4
4.1. Nature des sols reconnus	4
4.2. Observations concernant l'eau.....	5
4.3. Caractéristiques pressiométriques	5
4.4. Eléments concernant les fondations reconnues	6
5. CONCLUSIONS – RECOMMANDATIONS	6
5.1. Contexte géotechnique	6
5.2. Problématiques	6
5.2.1. Nappe.....	6
5.2.2. Terrains boulant.....	7

ANNEXES

- plan de situation
- implantation des sondages
- coupe du sondage pressiométrique
- photos de la fouille manuelle
- classification des missions géotechniques selon la norme NF P 94-500 de décembre 2006,
- schéma d'enchaînement des missions géotechniques.

1. PRESENTATION GENERALE - DEFINITION DE LA MISSION

A la demande et pour le compte de ERM, nous avons procédé à une reconnaissance de sols à LISIEUX (14) sur le site de l'entreprise KNORR BREMSE, dans le cadre d'un projet d'excavation de sol en place.

Le présent rapport rend compte des résultats obtenus dans le cadre d'une mission d'exécution de sondages et essais en place, et d'étude géotechnique d'avant-projet (mission géotechnique de type G₁₂ selon la norme française NF P 94-500 de décembre 2006).

Dans le cadre de notre mission et afin de préciser la nature et déterminer les caractéristiques mécaniques des couches superficielles et profondes du terrain, nous avons procédé aux investigations suivantes :

- 1 sondage pressiométrique, référencé SP1 descendu jusqu'à 11 m de profondeur,
- 9 essais pressiométriques standards (norme NF P 94-110) réalisés tous les mètres au droit du sondage précédent,
- 1 fouille de reconnaissance des fondations notée FM1

Notre intervention sur le site s'est déroulée le 14 juin 2011.

Dans la suite, toutes les profondeurs sont données par rapport à la tête des sondages au moment de notre intervention. Si besoin est, un nivellement sera à réaliser par un géomètre expert.

2. SITE

Le terrain se situe au Nord de Lisieux.

D'après la carte géologique de Lisieux au 1/50 000^{ième}, la succession géologique à cet emplacement est la suivante sous une couche éventuelle de remblais :

- *Alluvions et /ou dépôts de pente,*
- *Argile et Calcaire du Kimméridgien*

En ce qui concerne l'eau, la nappe phréatique règne dans les alluvions de la Touques.

3. PROJET

Le projet prévoit, à l'intérieur du bâtiment 3 :

- L'excavation de sol en place sur 4 / 4,5 m de profondeur, sur une superficie de 10 * 7 m.

La zone à excaver se situe en bordure de 2 murs périphériques, ce qui soulève le problème de la stabilité globale des existants.

4. RESULTATS OBTENUS

4.1. Nature des sols reconnus

Les sondages ont été réalisés en mode « roto-percussion » avec un fluide de forage (polycol). Cela ne permet pas de visualiser les sols dans leur état naturel ou peu remanié. Les coupes lithologiques sont donc fortement interprétatives. Elles ont été réalisées à partir de cuttings de forage, remaniés et déstructurés par la technique et le fluide de forage.

Seul un sondage carotté permettrait de réaliser une coupe précise des terrains traversés au droit de la parcelle.

La succession des différentes formations rencontrées est la suivante :

Remblais

Les remblais sont constitués de sables marron avec des cailloutis.

Ils ont été traversés jusqu'à 1,80 m environ.

Suite aux aménagements antérieurs du site, il est possible de rencontrer des surépaisseurs localisées.

Ces matériaux par nature hétérogènes peuvent renfermer tout aussi bien des niveaux indurés de toutes dimensions que des passages complètement décomprimés.

Alluvions / Dépôts de pente

Ces sols sont constitués de sables graveleux marron foncé plus ou moins argileux.

Ils ont été traversés jusqu'à 7.5 m environ.

Calcaire

Ces sols sont constitués de marno-calcaires avec des blocs de calcaire blancs beiges.

Ils ont été traversés jusqu'à la base du sondage arrêté volontairement à 11 m de profondeur.

4.2. Observations concernant l'eau

Lors de notre intervention, une arrivée d'eau a été observée à 2,80 m de profondeur.

Il s'agit de circulations d'eau au sein des alluvions.

De plus, des circulations et accumulations d'eau sont susceptibles de se développer en période pluvieuse au sein des remblais et des terrains de couverture à la faveur des passages les plus perméables.

4.3. Caractéristiques pressiométriques

Les valeurs des caractéristiques pressiométriques (E_M : module pressiométrique, pl^* : pression limite nette) ont été déterminées par des essais effectués au droit du sondage SP1. L'analyse des valeurs obtenues est la suivante par formation :

*** Remblais**

[1 couple de valeurs mesurées à 1,0 m]

- $E_m = 9,7$ MPa,
- $pl = 0,38$ MPa.

Les valeurs mesurées caractérisent des remblais d'une compacité médiocre.

*** Alluvions / Dépôts de pente**

[6 couples de valeurs mesurées entre 2,0 et 7,5 m]

E_m MIN (MPa)	E_m MAX (MPa)	E_m HARM (MPa)	E_m ARITH (MPa)	ECART TYPE	DISPERSION
1,4	8,0	3,4	4,7	2,2	2,1
pl MIN (MPa)	pl MAX (MPa)	pl HARM (MPa)	pl ARITH (MPa)	ECART TYPE	DISPERSION
0,21	0,81	0,44	0,49	0,22	2,25

Les essais réalisés au sein des alluvions / dépôts de pentes caractérisent des matériaux boullant dont les propriétés mécaniques sont faibles.

*** Calcaire**

[2 couples de valeurs mesurées à 7,5 et 9,0 m]

- $E_m = 22,17$ et $17,5$ MPa,
- $pl = 2,20$ et $2,54$ MPa.

Les essais réalisés au sein des calcaires et marno-calcaires caractérisent des matériaux dont les propriétés mécaniques sont élevées.

4.4. Eléments concernant les fondations reconnues

Le sondage FM1, exécuté à l'extérieur du bâtiment, dont la coupe figure en annexe, a fourni les indications suivantes sur les fondations du bâtiment 3 :

- *nature de la fondation : mur en moellons,*
- *profondeur : 0,70 par rapport au TN,*
- *débord : 0,0 m,*
- *nature du sol : remblai sableux marron avec cailloutis.*

5. CONCLUSIONS – RECOMMANDATIONS

5.1. Contexte géotechnique

La reconnaissance de sols réalisée sur site en juillet 2011 a mis en évidence la succession suivante :

- Des remblais sablo-graveleux jusqu'à environ 1,8 m de profondeur,
- Des alluvions et ou des dépôts de pente constitués sable graveleux plus ou moins argileux jusqu'à 7.5 m de profondeur,
- Des marno-calcaires jusqu'à la fin du sondage arrêté volontairement à 11 m de profondeur,
- La nappe phréatique intéresse les alluvions et son niveau a été relevé en juin 2011 à 2,80 m par rapport au TN.

5.2. Problématiques

5.2.1. Nappe

Le projet prévoit de terrasser à 4 / 4,5 m de profondeur.

La présence de l'eau à 2,80 m par rapport au TN et la nature précaire des fondations interdisent toute solution de rabattement de la nappe.



5.2.2. Terrains boulant

Les matériaux sablo-graveleux à excaver étant boulant, et baignant à partir de 2,8 m dans la nappe, il est nécessaire d'envisager un système de soutènement périphérique étanche. Compte tenu de la hauteur sous plafond, des machines classiques de pieux ne sont pas envisageables.

Ainsi, nous recommandons une solution de type : paroi armée au coulis.
Cette méthode offre également l'intérêt de s'affranchir d'une reprise en sous œuvre des fondations superficielles des murs existants.

Les hypothèses géotechniques, un exemple de pré-dimensionnement et une estimation du coût seront exposés dans le rapport géotechnique G2 (phase projet).



Nous restons à la disposition du Maître de l'Ouvrage et de son équipe de conception et de réalisation pour leur fournir tout renseignement complémentaire concernant nos résultats de sondages et nos conclusions, et réaliser toutes investigations complémentaires ou examens de fonds de fouille, dans le cadre de missions spécifiques (missions de type G₂ à G₄ de la Norme NF P 94-500 de décembre 2006).

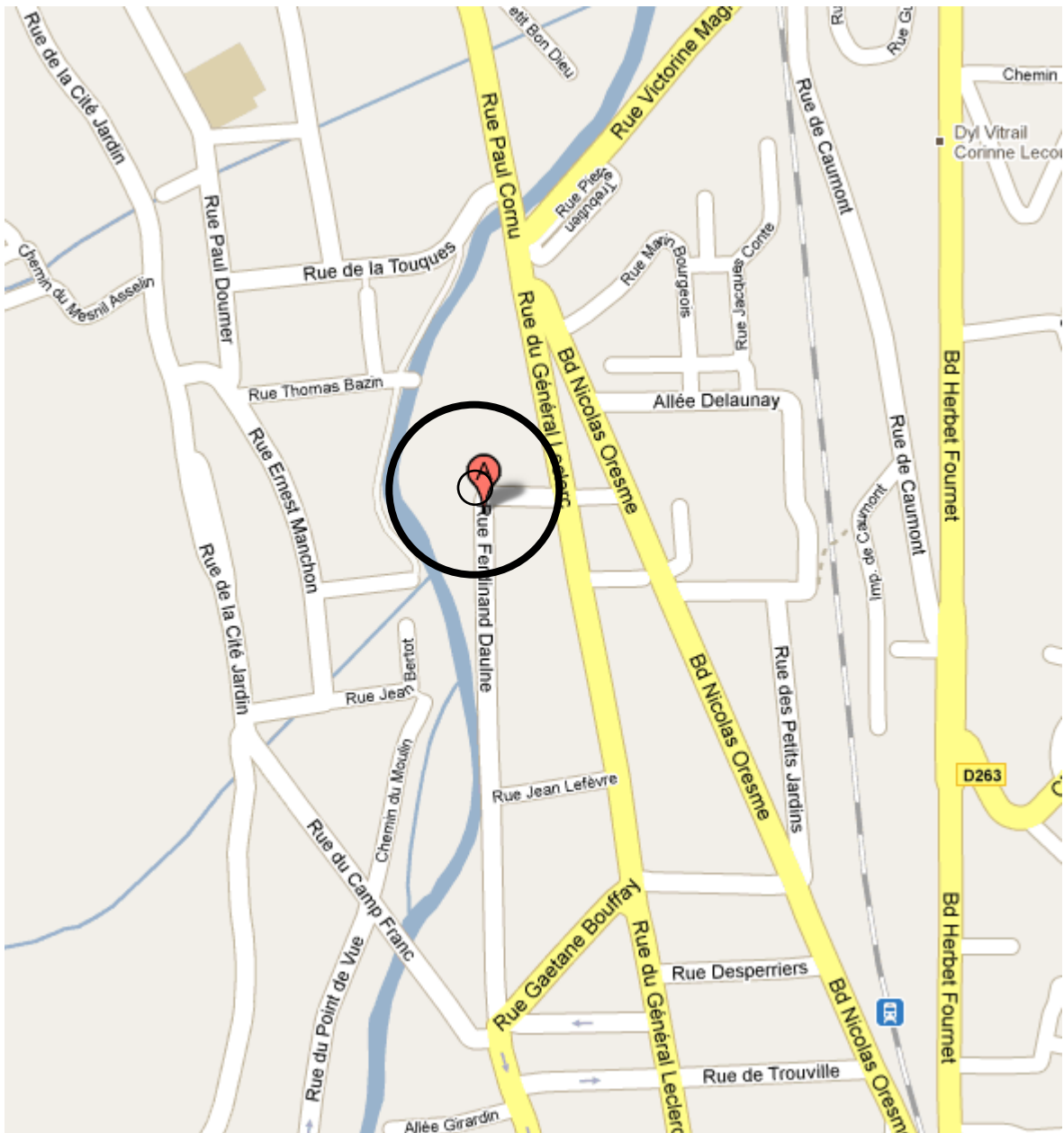
La description des missions normées et obligatoires ainsi que leur enchaînement sont présentées à la fin de ce rapport.



DOSSIER : TEA110234

Adresse : 31, rue Ferdinand Daulne
14104 LISIEUX

PLAN DE SITUATION

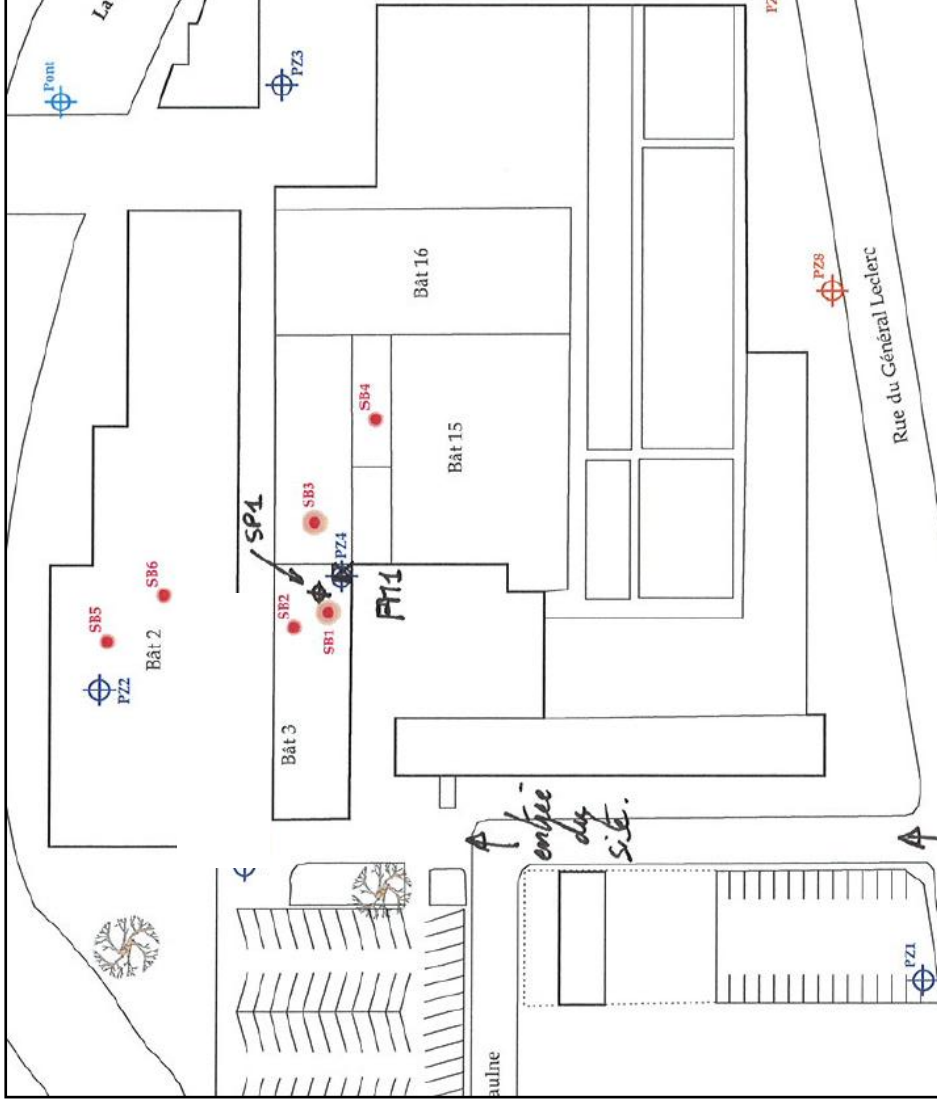




DOSSIER : TEA110234

Adresse : 31, rue Ferdinand Daulne
14104 LISIEUX

IMPLANTATION DES SONDAGES



LEGENDE :

- SP1= SONDAGE PRESSIOMETRIQUE
- FM1= FOUILLE MANUELLE



Dossier: **TEA110234**

Site : **14-LISIEUX**

Rue du Général Leclerc

Forage : SP1

Type : **SONDAGE PRESSIOMETRIQUE**

Client : **ERM**

Etude : **mission de type G12**

Machine : **SOCOMAFOR 35R**

Echelle : **1 / 100**

date début de forage : **14/06/2011**

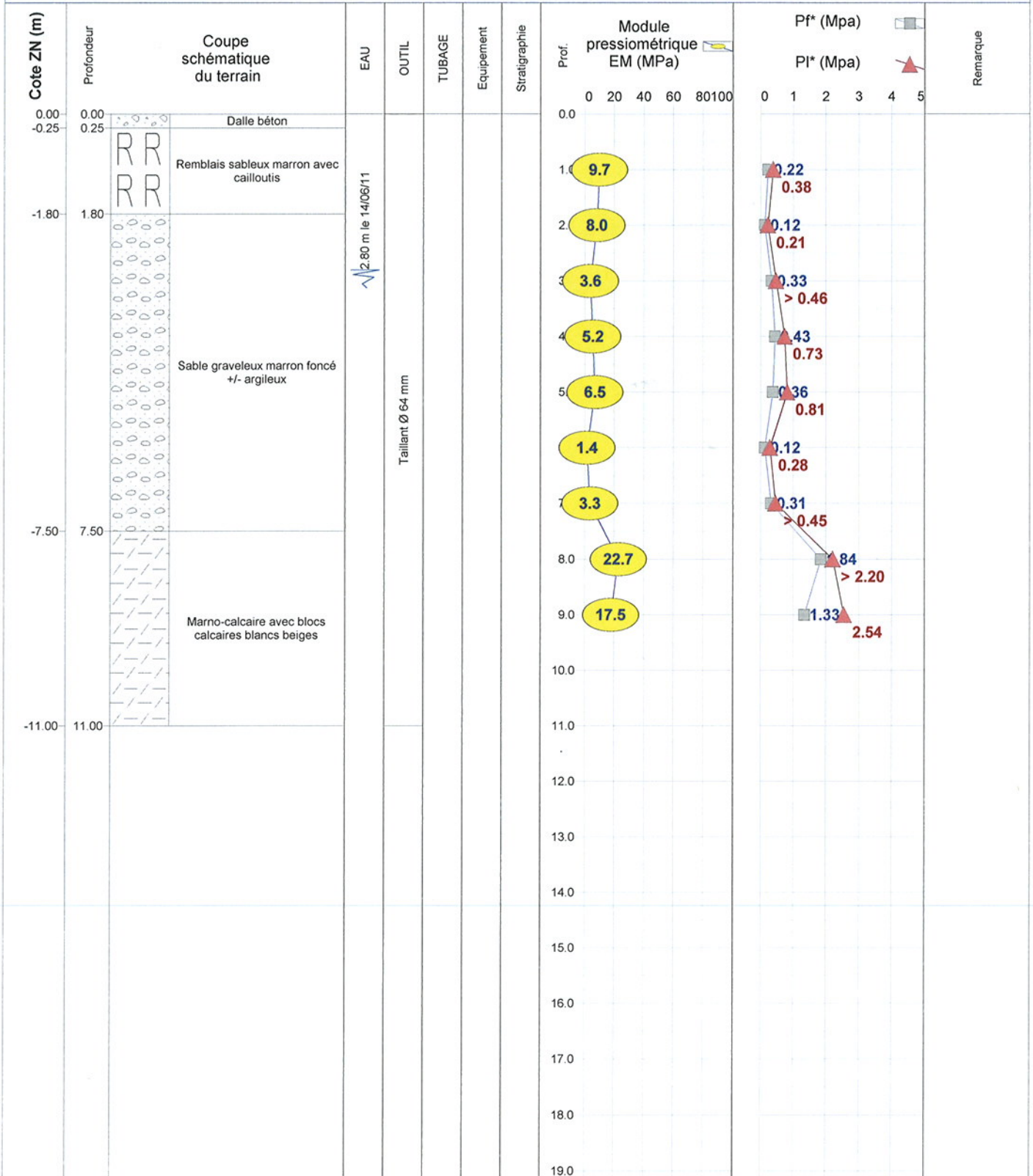
X :

date fin de forage : **14/06/2011**

Y :

Z :

Longueur : **11 m**



NOTA :

MODELE PRESENTATION :

T PRESSIOMIG NF P 94-110-1





ANNEXE EXTRAIT DE LA NORME AFNOR **SUR LES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE :**

CLASSIFICATION DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE TYPES

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique doit suivre les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géologiques. Chaque mission s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques définies au chapitre 7.

Il appartient au maître d'ouvrage de veiller à la réalisation successive de toutes ces missions par une ingénierie géotechnique.

ETAPE 1 : ETUDES GEOTECHNIQUES PREALABLES (G1)

Ces missions excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de projet (étape 2). Elles sont normalement à la charge du maître d'ouvrage.

ETUDE GEOTECHNIQUE PRELIMINAIRE DE SITE (G11)

Elle est nécessaire au stade d'une étude préliminaire ou d'esquisse et permet une première identification des risques géologiques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants ;
- Définir si nécessaire, un programme d'investigations géotechniques, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Fournir un rapport avec un modèle géologique préliminaire, certains principes généraux d'adaptation d'un projet au site et une première identification des risques.

ETUDE GEOTECHNIQUE D'AVANT PROJET (G12)

Elle est nécessaire au stade d'avant projet et permet de réduire les risques majeurs.

- Définir un programme d'investigations géotechniques détaillé, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, certains principes généraux de construction (notamment terrassements, soutènements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisinants).

Cette étude sera obligatoirement complétée lors de l'étude géotechnique de projet (étape 2).

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE PROJET (G2)

Elle est nécessaire pour définir le projet des ouvrages géotechniques et permet de réduire les risques importants. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage et doit être intégrée à la mission de maîtrise d'œuvre générale.

Phase Projet :

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Fournir les notes techniques donnant les méthodes d'exécution retenues pour les ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutènements, fondations, dispositions vis-à-vis des nappes et avoisinants), certaines notes de calcul de dimensionnement niveau projet ;
- Fournir une approche des quantités / délais / coûts d'exécution de ces ouvrages géotechniques et une identification des risques géologiques résiduels.

Phase Assistance aux Contrats de Travaux :

- Etablir les documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution des ouvrages géotechniques (plans, notices techniques, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel) ;
- Assister le client pour la sélection des entreprises et l'analyse technique des offres.

ETAPE 3 : EXECUTION DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Elle permet de réduire les risques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures d'adaptation ou d'optimisation. Elle est normalement à la charge de l'entrepreneur.

Phase Etude

- Définir si nécessaire un programme d'investigations géotechniques complémentaire, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Etudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment validation des hypothèses géotechniques, définition et dimensionnement (calculs justificatifs), méthodes et conditions d'exécution (phasages, suivis, contrôles, auscultations et valeurs seuils associées, dispositions constructives complémentaires éventuelles).

Phase Suivi

- Suivre le programme d'auscultation et l'exécution des ouvrages géotechniques, déclencher si nécessaire les dispositions constructives prédéfinies en phase Etude ;
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des excavations et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (en assurer le suivi et l'exploitation des résultats) ;
- Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et des recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques.

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Elle permet de vérifier la conformité de l'étude et suivi géotechniques d'exécution aux objectifs du projet. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage.

Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Avis sur l'étude géotechnique d'exécution, sur les adaptations ou optimisations potentielles des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, sur le programme d'auscultation et les valeurs seuils associées ;

Phase Supervision du suivi d'exécution

- Avis, par interventions ponctuelles sur le chantier, sur le contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur, sur le comportement observé de l'ouvrage et des avoisinants concernés et sur l'adaptation ou l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur.

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder à une étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques.

DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

Il a pour objet d'étudier de façon strictement limitative un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques dans le cadre d'une mission ponctuelle.

- Définir si nécessaire, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Etudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, rabattement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans d'autres éléments géotechniques.

Des études géotechniques de projet et/ou d'exécution, suivi et supervision doivent être réalisées ultérieurement conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique si ce diagnostic conduit à modifier ou réaliser des travaux.

Schéma d'enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique

Etape	PHASE DE REALISATION DE L'OUVRAGE	MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE	OBJECTIFS en terme de gestion des risques géologiques	Prestations d'investigations géotechniques
1	Étude préliminaire Étude d'esquisse	Étude géotechnique préliminaire de site (G11)	Première identification des risques	Si nécessaire
	Avant projet	Étude géotechnique d'avant projet (G12)	Réduction des risques majeurs	obligatoire
2	Projet Assistance Contrat Travaux	Étude géotechnique de projet (G2)	Réduction des risques importants	Si nécessaire
3	Exécution	Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3)	Réduction des risques résiduels	Si nécessaire
		Supervision géotechnique d'exécution (G4)		
	Etude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques	Diagnostic géotechnique (G5)	Analyse des risques liés à ce ou ces éléments géotechniques	obligatoire



SOMMAIRE

	Page
1. CONTEXTE GENERAL.....	3
2. SCHEMA DE PRINCIPE	4
3. MODELE GEOTECHNIQUE.....	5
4. ESTIMATION DU CHIFFRAGE DE LA PAC.....	6

ANNEXE

- Hypothèses et résultats du calcul RIDO

1. CONTEXTE GENERAL

Consistance de l'étude

ERM a mandaté Technosol pour la **mission géotechnique de projet (G2)** dans le cadre d'un projet d'**excavation de sols en place**.

- sur **4 / 4,5 m** de profondeur,
- pour une superficie de **10 m x 7 m**.

Objet du rapport G2

Ce rapport, qui se base sur les résultats de l'étude **TEA110234 version A du 06/07/2011 – rapport géotechnique G12**, présente :

- les **hypothèses et le modèle** géotechniques
- la **modélisation** de la paroi sous le **logiciel RIDO**,
- une **estimation du coût des travaux**,

Problématique

- **nappe** alluviale à **2,8 m** de profondeur,
- **terrains bouillants** jusqu'à **7,0 m** de profondeur,
- **murs périphériques** sur **semelle** à **proximité immédiate**,
- hauteur **limitée sous plafond** estimée à **7 m**

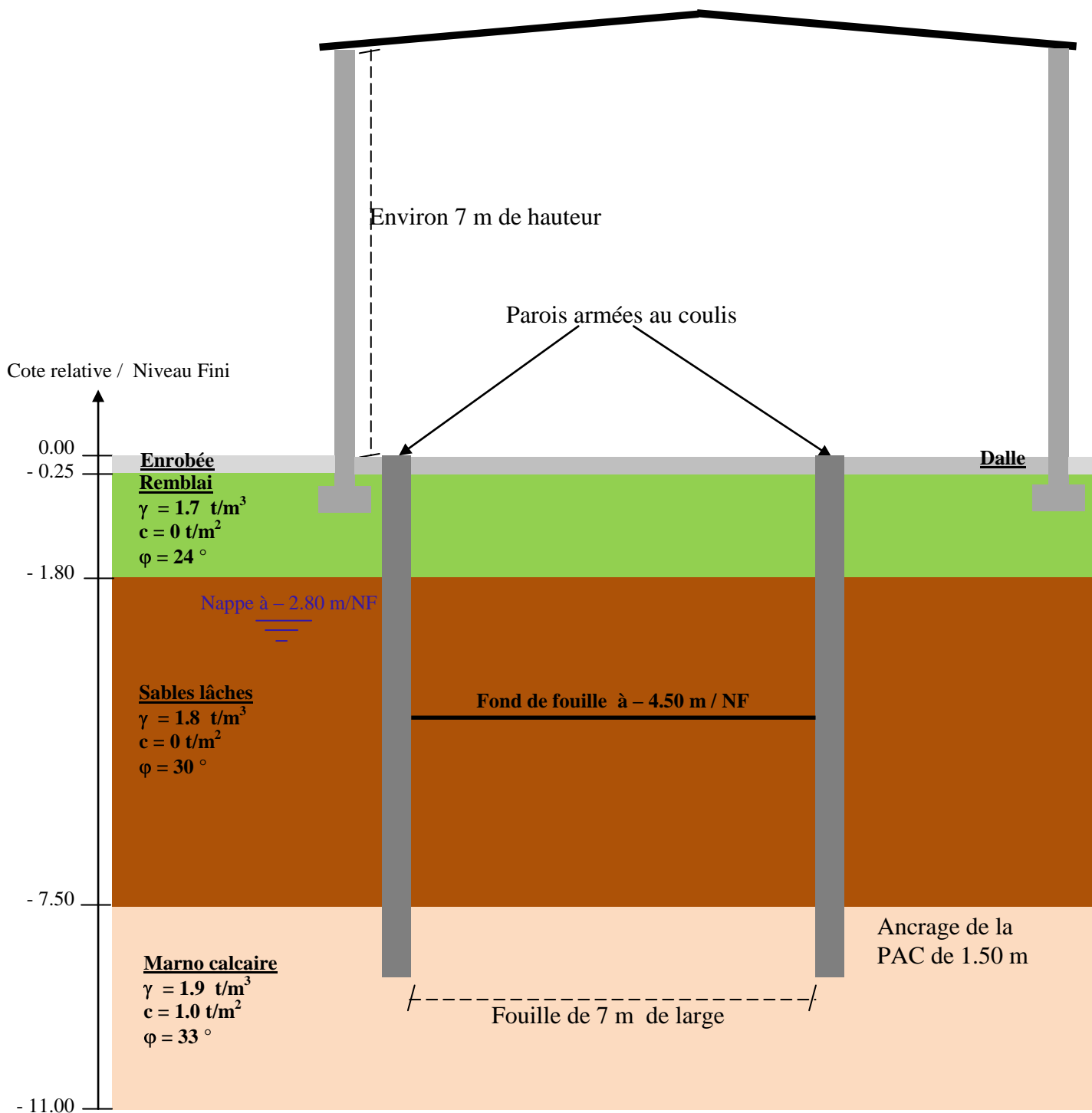
Solution

paroi armée au coulis (PAC),

Observation importante

Un temps de prise du coulis entre 2 et 3 semaines sera à prendre en compte avant le début des terrassements.

2. SCHEMA DE PRINCIPE



3. MODELE GEOTECHNIQUE

Hypothèses de sol Le tableau ci-dessous est basé sur les **mesures effectuées in situ** le 14/06/2011.

Coupe de sol

Couche	Cote Sup (m)	Cote Inf (m)	Em _{mov} (m)	Pl _{mov} (m)	γ (t/m ³)	c (t/m ²)	φ (°)
Remblai	0.00	-1.80	9.7	0.38	1.7	0	24
Sables	-1.80	-7.50	3.4	0.44	1.8	0	30
Marno-calcaire	-7.50	-11.00	19.6	2.36	1.9	1	33

Nappe phréatique En **juin 2011** à **2.80 m** de profondeur par rapport au niveau fini

Dimensionnement du soutènement Le **dimensionnement** de la paroi armée au coulis a été réalisé à l'aide du logiciel RIDO

Hypothèses de calcul

Paroi armée au coulis (PAC) :

- longueur périphérique : 34 m
- épaisseur : 0.50 m
- profondeur : 9 m
- ancrage : 1.50 m
- distance PAC-semelle : 0.30 m

Butons:

- cote du point de liaison : - 0.50 m
- rigidité : 10 000 t/m

Phasage du calcul

Phase 1 : mise en place de la paroi et excavation sur 1 m ;

Phase 2 : mise en place des butons ;

Phase 3 : excavation jusqu'en fond de fouille (4.50 m) et pompage jusqu'à 5.00 m de profondeur

Résultats

Phase	Déformée maximale (mm)	Moment maximal (m.t /m)	Effort tranchant maximal (t/m)	Effort dans le bouton (t)
1	5.74	2.17	1.27	Mise en place
2	5.71	2.14	1.26	0.01
3	11.49	- 9.50	- 7.24	- 8.12

L'ensemble des hypothèses et des résultats du calcul RIDO sont présentés en annexe.

4. ESTIMATION DU CHIFFRAGE DE LA PAC

Chiffrage

Cette estimation est donnée à titre indicatif

Déboursé

Le prix comprend :

- **Amenée/repli du matériel,**
- **Forage excavation (estimation : 7 jours),**
- **Fourniture :**
 - **Ciment (estimation : 80 tonnes),**
 - **Profilés de type HEB 400,**
 - **Treillis soudés**
 - **Liernes et butons**

Prix de vente

Tout calcul fait, nous arrivons à une estimation de **400 à 450 k€**.



Nous restons à la disposition du Maître de l'Ouvrage et de son équipe de conception et de réalisation pour leur fournir tout renseignement complémentaire concernant nos résultats de sondages et nos conclusions, et réaliser toutes investigations complémentaires ou examens de fonds de fouille, dans le cadre de missions spécifiques (missions de type G₄ de la Norme NF P 94-500 de décembre 2006).

La description des missions normées et obligatoires ainsi que leur enchaînement sont présentées à la fin de ce rapport.



ANNEXE

Hypothèses et résultats du calcul RIDO

LISIEUX PAROI PAC *F A 120 L U:T*

#niveau=11

*

* HEB 360 E=1,50 m

*

* COUPE 1

: 100.0

1 ... 100
: 91 6045
2 ... 91 6045
: 100.0
3 ... 100
: 98.2 1.7 1.1 0.422 0 3.364 0 24 0 0.67 1500
4 ... 98.2 1.7 1.1 0.422 0 3.364 0 24 0 0.67 1500
: 92.0 1.8 1.1 0.333 0 4.98 0 30 0 0.67 2500
5 ... 92 1.8 1.1 0.333 0 4.98 0 30 0 0.67 2500
: 50.0 1.9 1.1 0.295 0 6.27 5.0 33 0 0.67 4500
6 ... 50 1.9 1.1 0.295 0 6.27 5 33 0 0.67 4500
*
: 97.2 1
7 ... 97.2 1
*
: COE 100.0 91.0 0.20 2
8 ... COE 100 91 0.2 2
: SUC(1) 1.0
9 ... SUC(1) 1
: SUB(1) 99.3 0.5 1.0 20
10 ... SUB(1) 99.3 0.5 1 20
* TALUS
: BER(2) 99.0
11 ... BER(2) 99
: CAL(2)
12 ... CAL(2)
: BUT 99.5 1 0 0 10000
13 ... BUT 99.5 1 0 0 10000
: EAU(2) 95.0
14 ... EAU(2) 95
: CAL(2)
15 ... CAL(2)
: BER(2) 95.5
16 ... BER(2) 95.5
: CAL(2)
17 ... CAL(2)
*BUT 7.75 1 0 0 80880
*BUT 0.15 1 0 0 40440
*CAL(2)
*BUT(0,1)
*CAL(2)
*INE(1) 10280
*CAL(2)
: FIN
18 ... FIN
: GRF
19 ... GRF
: BIL
20 ... BIL
: STOP
21 ... STOP

*
 * HEB 360 E=1,50 m
 *
 * COUPE 1
 *

 ** DONNEES DE BASE **

* EFFET DE FLAMBAGE PRIS EN COMPTE

* SURCHARGES DE BOUSSINESQ NON LIEES A L'ETAT DU SOL

*** DESCRIPTION DU RIDEAU :

SECTION NO 1 DE 100.000 m A 91.000 m :	PRODUIT D'INERTIE EI	RIGIDITE CYLINDRIQUE
	6045. T.m2/m	0. T/m3

*** DESCRIPTION DU SOL :

COUCHE NO 1 DE 100.000 m A 98.200 m :

POIDS VOLUMIQUE DU SOL HUMIDE	GH =	1.700 T/m3
POIDS VOLUMIQUE DU SOL DEJAUGE	GD =	1.100 T/m3
COEFF. DE POUSSEE HORIZONTALE	KA =	0.422
COEFF. DE POUSSEE HOR. AU REPOS	K0 =	0.593
COEFF. DE BUTEE HORIZONTALE	KP =	3.364
COHESION	C =	0.000 T/m2
ANGLE DE FROTTEMENT INTERNE	PHI =	24.000 DEGRES
EN POUSSEE DELTA/PHI	=	0.000
EN BUTEE DELTA/PHI	=	-0.670
COEFF. DE REACTION ELASTIQUE (A P=0)	=	1500.000 T/m3
GAIN DE CE COEFF. A LA PRESSION	=	0.000 1/m

COUCHE NO 2 DE 98.200 m A 92.000 m :

POIDS VOLUMIQUE DU SOL HUMIDE	GH =	1.800 T/m3
POIDS VOLUMIQUE DU SOL DEJAUGE	GD =	1.100 T/m3
COEFF. DE POUSSEE HORIZONTALE	KA =	0.333
COEFF. DE POUSSEE HOR. AU REPOS	K0 =	0.500
COEFF. DE BUTEE HORIZONTALE	KP =	4.980
COHESION	C =	0.000 T/m2
ANGLE DE FROTTEMENT INTERNE	PHI =	30.000 DEGRES
EN POUSSEE DELTA/PHI	=	0.000
EN BUTEE DELTA/PHI	=	-0.670
COEFF. DE REACTION ELASTIQUE (A P=0)	=	2500.000 T/m3
GAIN DE CE COEFF. A LA PRESSION	=	0.000 1/m

COUCHE NO 3 DE 92.000 m A 50.000 m :

POIDS VOLUMIQUE DU SOL HUMIDE	GH =	1.900 T/m3
POIDS VOLUMIQUE DU SOL DEJAUGE	GD =	1.100 T/m3
COEFF. DE POUSSEE HORIZONTALE	KA =	0.295
COEFF. DE POUSSEE HOR. AU REPOS	K0 =	0.455
COEFF. DE BUTEE HORIZONTALE	KP =	6.270
COHESION	C =	5.000 T/m2
ANGLE DE FROTTEMENT INTERNE	PHI =	33.000 DEGRES
EN POUSSEE DELTA/PHI	=	0.000
EN BUTEE DELTA/PHI	=	-0.670
COEFF. DE REACTION ELASTIQUE (A P=0)	=	4500.000 T/m3
GAIN DE CE COEFF. A LA PRESSION	=	0.000 1/m

*

** PHASE No 1 **

*

* DE 100.000 m A 91.000 m COEFFICIENT AFFECTE AUX PRESSIONS = 0.200
COEFF. SUPPLEMENTAIRE SUR LA BUTEE = 2.000

* SURCHARGE CAQUOT SUR SOL 1 = 1.000 T/m2

* SUPPRESSION SURCHARGES BOUSSINESQ SUR SOL 1

* ADDITION SURCHARGE BOUSSINESQ SUR SOL 1
NIV. = 99.300 m A = 0.500 m B = 1.000 m Q = 20.000 T/m2

* TALUS

* EXCAVATION DANS LE SOL 2 NIVEAU = 99.000 m

POSE DE PLANCHES (BERLINOISE) JUSQU'AU NIVEAU = 99.000 m

PHASE 1						S O L 1				S O L 2					
R I D E A U						EXCAVATION: 100.00 m				EXCAVATION: 99.00 m					
						NAPPE D'EAU: 97.20 m				NAPPE D'EAU: 97.20 m					
						SURC. CAQUOT: 1.00 T/m2				SURC. CAQUOT: 0.00 T/m2					
NIVEAU	DEPLAC.	ROTATION	MOMENT	EF.TR.	CH.REP.	ETAT	PRES.	SURCH.	ELAST.	ETAT	PRES.	SURCH.	ELAST.	NO	CHARGE
100.000	5.740	-1.509	0.00	0.00		1	0.42	0.42	1500	0					
99.500	4.986	-1.507	0.07	0.30		1	0.78	0.42	1500	0					
99.300	4.685	-1.504	0.14	0.47		1	0.92	0.42	1500	0					
99.000	4.235	-1.492	0.37	1.18		1	3.78	3.06	1500	0					
						1	0.76	0.61	300	3	0.00		300		
98.904	4.093	-1.485	0.49	1.24		1	0.80	0.64	300	3	0.22		300		
98.200	3.079	-1.375	1.41	1.27		1	0.58	0.33	300	2	1.09		300		
						1	0.51	0.31	500	2	1.68		500		
97.200	1.849	-1.065	2.16	0.29		1	0.45	0.13	500	2	1.24		500		
96.350	1.075	-0.756	2.17	-0.24		1	0.48	0.09	500	2	0.95		500		
95.500	0.557	-0.473	1.82	-0.55		1	0.53	0.08	500	2	0.78		500		
95.000	0.356	-0.335	1.52	-0.63		2	0.66	0.11	500	2	0.74		500		
94.250	0.168	-0.176	1.04	-0.62		2	0.83	0.11	500	2	0.72		500		
93.500	0.077	-0.075	0.61	-0.51		2	0.96	0.10	500	2	0.76		500		
92.750	0.044	-0.021	0.28	-0.35		2	1.06	0.10	500	2	0.83		500		
92.000	0.038	0.001	0.09	-0.18		2	1.14	0.10	500	2	0.91		500		
						2	1.02	0.09	900	2	0.84		900		
91.000	0.042	0.005	0.00	0.00		2	1.12	0.09	900	2	0.95		900		
m	mm	/1000	m.T/m	T/m	T/m2		T/m2	T/m2	T/m3		T/m2	T/m2	T/m3		T

DEPLACEMENT MAXIMUM = 5.74 mm
 MOMENT MAXIMUM = 2.17 m.T/m

CODIFICATION DE L'ETAT DU SOL
 -1 = DECOLLEMENT
 0 = EXCAVATION
 1 = POUSSEE
 2 = ELASTIQUE
 3 = BUTEE

(4 IT.)

EFFET HORIZONTAL CUMULE DES SURCHARGES SUR LE SOL 1 = 2.05 T/m
 EFFET HORIZONTAL CUMULE DES SURCHARGES SUR LE SOL 2 = 0.00 T/m

RAPPORT (PRESSION MOBILISEE)/(BUTEE MOBILISABLE) POUR LE SOL 1 = 0.046
 RAPPORT (PRESSION MOBILISEE)/(BUTEE MOBILISABLE) POUR LE SOL 2 = 0.068

** PHASE No 2 **

* POSE NAPPE DE BUTONS NO 1

NIVEAU = 99.500 m
ESPACEMENT = 1.000 m
INCLINAISON = 0.000 DEGRES
PRECHARGE = 0.000 T
RIGIDITE = 10000.000 T/m
LIAISON BILATERALE

* DEPLACEMENT DE LA NAPPE PHREATIQUE DANS LE SOL 2 NIVEAU = 95.000 m

PHASE 2

R I D E A U						S O L 1				S O L 2				BUTONS/ TIRANTS	
						EXCAVATION:	100.00 m			EXCAVATION:	99.00 m				
						NAPPE D'EAU:	97.20 m			NAPPE D'EAU:	95.00 m				
						SURC. CAQUOT:	1.00 T/m2			SURC. CAQUOT:	0.00 T/m2				
NIVEAU	DEPLAC.	ROTATION	MOMENT	EF.TR.	CH.REP.	ETAT	PRES.	SURCH.	ELAST.	ETAT	PRES.	SURCH.	ELAST.	NO	CHARGE
100.000	5.710	-1.446	0.00	0.00		2	0.47	0.47	1500	0					
99.500	4.987	-1.444	0.07	0.31		1	0.78	0.42	1500	0					
				0.31		1	0.78	0.42	1500	0				1	-0.01
99.300	4.698	-1.441	0.15	0.48		1	0.92	0.42	1500	0					
99.000	4.268	-1.428	0.38	1.18		1	3.78	3.06	1500	0					
						1	0.76	0.61	300	3	0.00		300		
98.904	4.132	-1.422	0.49	1.25		1	0.80	0.64	300	3	0.22		300		
98.200	3.163	-1.310	1.42	1.26		1	0.58	0.33	300	2	1.11		300		
						1	0.51	0.31	500	2	1.72		500		
97.200	1.998	-1.001	2.14	0.23		1	0.45	0.13	500	2	1.31		500		
96.350	1.276	-0.699	2.07	-0.33	0.17	1	0.48	0.09	500	2	1.11		500		
95.500	0.799	-0.433	1.66	-0.59	0.34	1	0.53	0.08	500	2	1.02		500		
95.000	0.614	-0.308	1.35	-0.64	0.44	1	0.56	0.08	500	2	1.02		500		
94.250	0.439	-0.170	0.89	-0.60	0.44	2	0.70	0.11	500	2	1.01		500		
93.500	0.346	-0.086	0.48	-0.47	0.44	2	0.82	0.10	500	2	1.05		500		
92.750	0.299	-0.046	0.19	-0.29	0.44	2	0.93	0.10	500	2	1.11		500		
92.000	0.270	-0.032	0.05	-0.09	0.44	2	1.02	0.10	500	2	1.18		500		
					0.44	2	0.81	0.09	900	2	1.19		900		
91.000	0.240	-0.030	0.00	0.00	0.44	2	0.94	0.09	900	2	1.27		900		
m	mm	/1000	m.T/m	T/m	T/m2		T/m2	T/m2	T/m3		T/m2	T/m2	T/m3		T

DEPLACEMENT MAXIMUM =	5.71 mm	CODIFICATION	-1 = DECOLLEMENT
MOMENT MAXIMUM =	2.14 m.T/m	DE L'ETAT	0 = EXCAVATION
		DU SOL	1 = POUSSEE
			2 = ELASTIQUE
			3 = BUTEE

(3 IT.)

EFFET HORIZONTAL CUMULE DES SURCHARGES SUR LE SOL 1 = 2.05 T/m
 EFFET HORIZONTAL CUMULE DES SURCHARGES SUR LE SOL 2 = 0.00 T/m

RAPPORT (PRESSION MOBILISEE)/(BUTEE MOBILISABLE) POUR LE SOL 1 = 0.042
 RAPPORT (PRESSION MOBILISEE)/(BUTEE MOBILISABLE) POUR LE SOL 2 = 0.073

** R I D O 4.02 (C) R.F.L **

LISIEUX PAROI PAC

** PAGE 6 **

** T E C H N O S O L **

** 06/07/11 **

** PHASE No 3 **

* EXCAVATION DANS LE SOL 2

NIVEAU = 95.500 m

POSE DE PLANCHES (BERLINOISE) JUSQU'AU NIVEAU = 95.500 m

PHASE 3						S O L 1				S O L 2					
R I D E A U						EXCAVATION: 100.00 m				EXCAVATION: 95.50 m				BUTONS/	
						NAPPE D'EAU: 97.20 m				NAPPE D'EAU: 95.00 m				TIRANTS	
						SURC. CAQUOT: 1.00 T/m2				SURC. CAQUOT: 0.00 T/m2					
NIVEAU	DEPLAC.	ROTATION	MOMENT	EF.TR.	CH.REP.	ETAT	PRES.	SURCH.	ELAST.	ETAT	PRES.	SURCH.	ELAST.	NO	CHARGE
100.000	4.207	3.180	0.00	0.00		2	2.72	2.72	1500	0					
99.500	5.798	3.188	0.26	0.88		1	0.78	0.42	1500	0					
				-7.24		1	0.78	0.42	1500	0				1	-8.12
99.300	6.435	3.173	-1.17	-7.07		1	0.92	0.42	1500	0					
99.000	7.373	3.063	-3.21	-6.37		1	3.78	3.06	1500	0					
98.904	7.663	3.007	-3.80	-6.00		1	3.99	3.21	1500	0					
98.200	9.574	2.354	-7.12	-3.56		1	2.92	1.63	1500	0					
						1	2.56	1.54	2500	0					
97.200	11.258	0.950	-9.45	-1.15		1	2.26	0.64	2500	0					
96.350	11.490	-0.406	-9.50	1.18	0.85	1	2.39	0.46	2500	0					
95.500	10.609	-1.612	-7.19	4.40	1.70	1	2.64	0.39	2500	0					
					0.34	1	0.53	0.08	500	3	0.00		500		
95.000	9.670	-2.114	-4.95	4.42	0.44	1	0.56	0.08	500	3	1.79		500		
94.250	7.903	-2.537	-2.01	3.23	0.44	1	0.61	0.07	500	3	3.44		500		
93.500	5.940	-2.663	-0.23	1.54	0.44	1	0.66	0.07	500	2	3.22		500		
92.750	3.946	-2.642	0.42	0.31	0.44	1	0.72	0.07	500	2	2.31		500		
92.000	1.986	-2.586	0.42	-0.19	0.44	1	0.77	0.07	500	2	1.41		500		
					0.44	-1				2	2.17		900		
91.000	-0.578	-2.554	0.00	0.00	0.44	2	1.68	0.09	900	-1					
m	mm	/1000	m.T/m	T/m	T/m2		T/m2	T/m2	T/m3		T/m2	T/m2	T/m3		T

DEPLACEMENT MAXIMUM = 11.49 mm

MOMENT MAXIMUM = -9.50 m.T/m

CODIFICATION : -1 = DECOLLEMENT
 DE L'ETAT : 0 = EXCAVATION
 DU SOL : 1 = POUSSEE
 : 2 = ELASTIQUE
 : 3 = BUTEE

(4 IT.)

EFFET HORIZONTAL CUMULE DES SURCHARGES SUR LE SOL 1 = 5.61 T/m
 EFFET HORIZONTAL CUMULE DES SURCHARGES SUR LE SOL 2 = 0.00 T/m

RAPPORT (PRESSION MOBILISEE)/(BUTEE MOBILISABLE) POUR LE SOL 1 = 0.067
 RAPPORT (PRESSION MOBILISEE)/(BUTEE MOBILISABLE) POUR LE SOL 2 = 0.226

** R I D O 4.02 (C) R.F.L **

LISIEUX PAROI PAC

** PAGE 8 **

** T E C H N O S O L **

** 06/07/11 **

** PHASE No 4 **

*BUT 7.75 1 0 0 80880

*BUT 0.15 1 0 0 40440

*CAL(2)

*BUT(0,1)

*CAL(2)

*INE(1) 10280

*CAL(2)

*** CALCUL TERMINE

*** DEPLACEMENT MAXIMUM EN PHASE No 3 = 11.490 mm EN PHASE FINALE No 3 = 11.490 mm
 *** MOMENT MAXIMUM EN PHASE No 3 = -9.500 m.T/m EN PHASE FINALE No 3 = -9.500 m.T/m

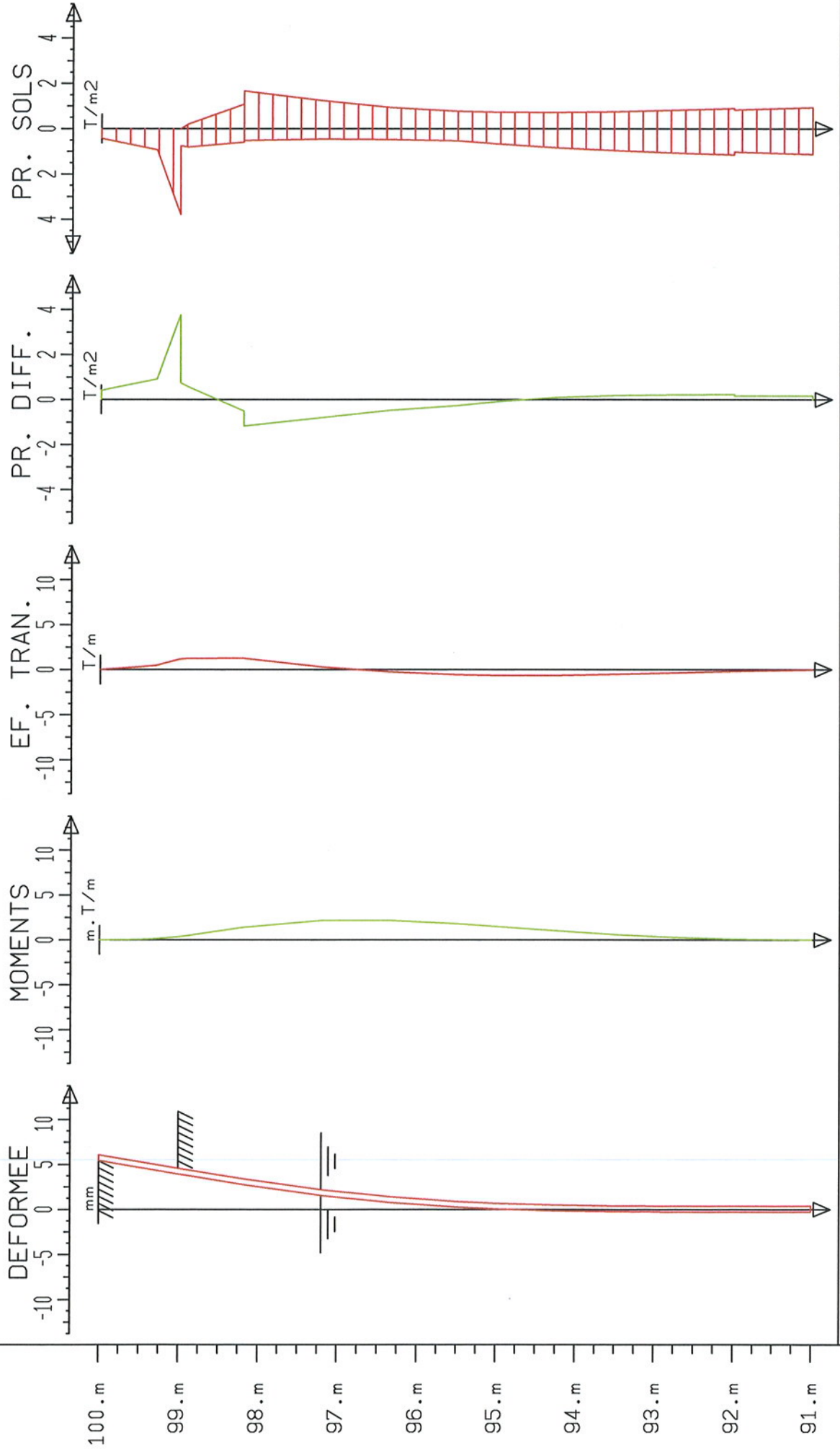
BUTON/TIRANT		PRECHARGE		MAXIMUM		ETAT FINAL	
NUMERO	NIVEAU	PHASE	FORCE	PHASE	FORCE	PHASE	FORCE
1	99.50	2	0.00	3	-8.12	3	-8.12
	m		T		T		T

* COURBES ENVELOPPES DE LA PHASE 1 A LA PHASE 3 *

NIVEAU	E.TRAN MINI	E.TRAN MAXI	NIVEAU	MOMENT MINI	MOMENT MAXI
100.000	0.00	0.00	100.000	0.00	0.00
99.500	0.00	0.88	99.500	0.00	0.26
	-7.24	0.31		0.00	0.26
99.300	-7.07	0.48	99.300	-1.17	0.15
99.000	-6.37	1.18	99.000	-3.21	0.38
98.904	-6.00	1.25	98.904	-3.80	0.49
98.200	-3.56	1.27	98.200	-7.12	1.42
97.200	-1.15	0.29	97.200	-9.45	2.16
96.350	-0.33	1.18	96.350	-9.50	2.17
95.500	-0.59	4.40	95.500	-7.19	1.82
95.000	-0.64	4.42	95.000	-4.95	1.52
94.250	-0.62	3.23	94.250	-2.01	1.04
93.500	-0.51	1.54	93.500	-0.23	0.61
92.750	-0.35	0.31	92.750	0.00	0.42
92.000	-0.19	0.00	92.000	0.00	0.42
91.000	0.00	0.00	91.000	0.00	0.00
m	T/m	T/m	m	m.T/m	m.T/m

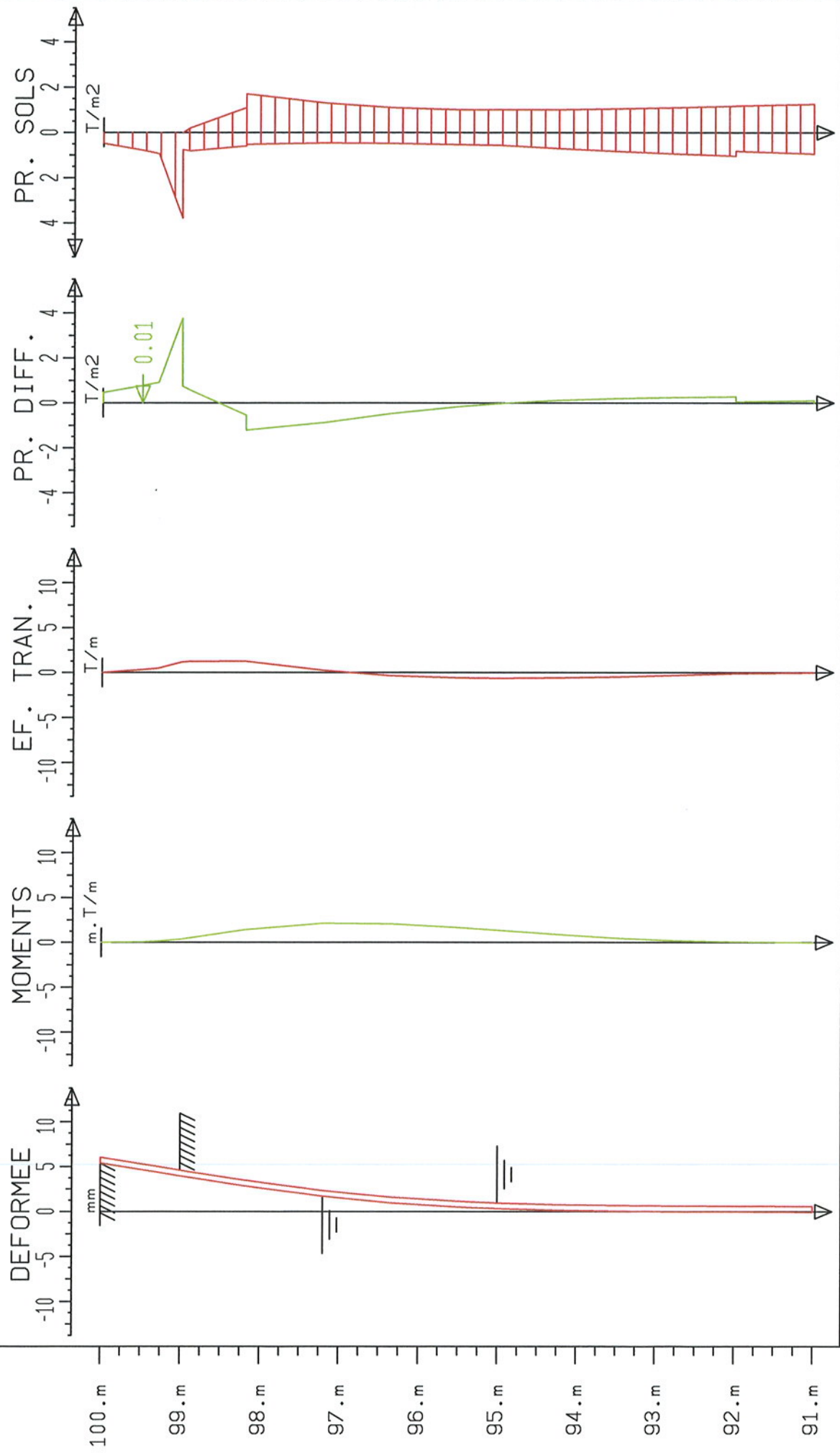
LISIEUX PAROI PAC

GRAPHES DE LA PHASE No 1



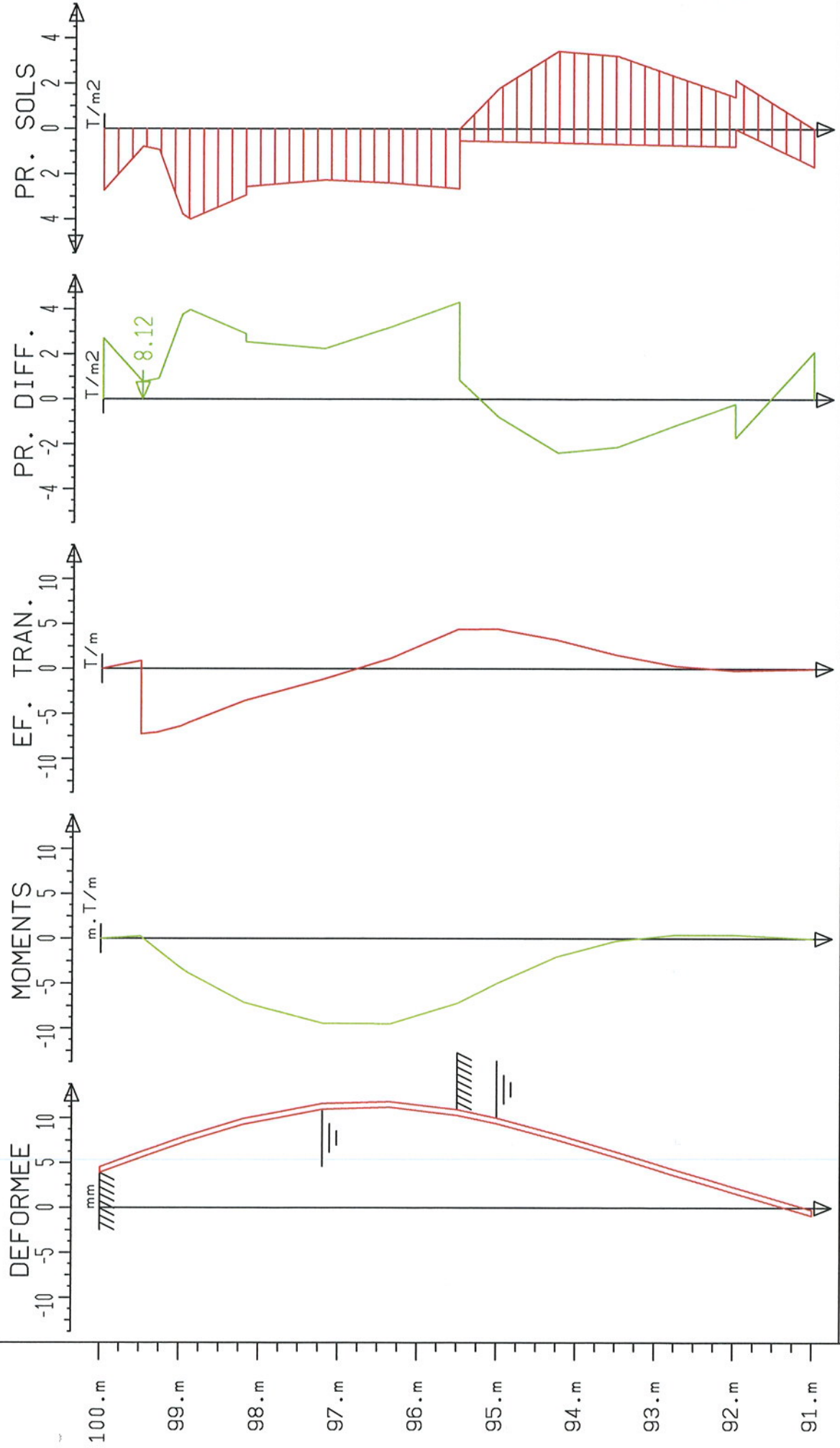
LISIEUX PAROI PAC

GRAPHES DE LA PHASE No 2



LISIEUX PAROI PAC

GRAPHES DE LA PHASE No 3



LISIEUX PAROI PAC

ENVELOPPES DE LA PHASE 1 A LA PHASE 3



100.m

99.m

98.m

97.m

96.m

95.m

94.m

93.m

92.m

91.m