

**AVERTISSEMENT**

Le présent rapport est rédigé sous l'entière responsabilité de son auteur et de son commanditaire.

Les données qu'il comporte et ses conclusions ne sauraient engager la responsabilité de l'Administration et ne valent pas validation automatique.

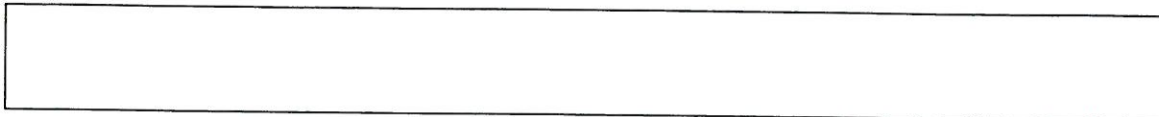
Seules les décisions prises par l'Administration et dûment décrites en page 2 de la fiche BASOL font foi.

# SAFT

## BORDEAUX (33)

# Diagnostic complémentaire et établissement d'un bilan coûts/avantages

Rapport



**BORDEAUX (33)**  
 Diagnostic complémentaire  
 et  
 Établissement d'un bilan coût / avantage

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Document initial	08/2010		L. CHARRIER N.MONTIGNY		JM. COME A. BARRERE	 	A. BARRERE	
		a						
		b						
		c						
		d						

<b>Numéro de rapport :</b>	<b>RBx840</b>
<b>Numéro d'affaire :</b>	<b>A.18790</b>
<b>N° de contrat :</b>	<b>CBxZ081164</b>
<b>Domaine technique :</b>	<b>SP12</b>
<b>Mots clé du thésaurus</b>	<b>Sites et sols pollués - Diagnostic de pollution - Prélèvement d'eau - COHV - Plan de gestion</b>

BURGÉAP  
 AGENCE DE BORDEAUX  
 Bât.51, rue des Terres Neuves  
 33130 Bègles

Téléphone : 33(0)5.56.49.38.22

Télécopie : 33(0)5.56.49.89.69

e-mail : [agence.de.bordeaux@burgeap.fr](mailto:agence.de.bordeaux@burgeap.fr)

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>Objet</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Cadre d'intervention et contexte réglementaire</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Etude documentaire et historique</b>	<b>8</b>
3.1	<b>Contexte environnemental</b>	<b>8</b>
3.1.1	Situation géographique	8
3.1.2	Contexte géologique	8
3.1.3	Contextes hydrologique et hydrogéologique	8
3.1.4	Utilisation de la ressource en eaux souterraines	9
3.1.5	Occupation des sols en aval hydraulique du site de SAFT	11
3.2	<b>Etude historique</b>	<b>12</b>
3.3	<b>Récapitulatif des études de diagnostic de pollution antérieures</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Méthodologie retenue</b>	<b>14</b>
4.1	<b>Motivations et méthodologie générale</b>	<b>14</b>
4.2	<b>La méthodologie retenue sur le site de SAFT</b>	<b>15</b>
4.3	<b>Descriptif de la méthode des sondages carottés avec analyses multi-niveaux</b>	<b>16</b>
4.4	<b>Descriptif de la méthode des prélèvements d'eaux interstitielles</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Investigations de terrain</b>	<b>19</b>
5.1	<b>Chronologie d'intervention</b>	<b>19</b>
5.2	<b>PHASE I : Investigations réalisées sur la nappe</b>	<b>19</b>
5.2.1	Piézométrie	19
5.2.2	Caractérisation de la qualité des eaux souterraines à partir du réseau de piézomètres existants	20
5.3	<b>PHASES II et III : Investigations réalisées sur les sols et les eaux interstitielles</b>	<b>22</b>
5.3.1	Caractéristiques des ouvrages réalisés	22
5.3.2	Géologie des terrains	22
5.3.3	Résultats obtenus au droit de la zone 1	23
5.3.4	Résultats obtenus au droit de la zone 2	24
5.3.5	Résultats obtenus au droit de la zone 3	26
<b>6</b>	<b>Résultats de la caractérisation des zones sources</b>	<b>28</b>
6.1	<b>Méthodologie d'interprétation</b>	<b>28</b>
6.2	<b>Définition des seuils de concentration en COHV correspondant aux zones source</b>	<b>28</b>
6.2.1	Approche « équilibre local » et « non équilibre local »	28
6.2.2	Calcul des seuils théoriques	29
6.2.3	Seuils retenus pour la gestion du site	31
6.3	<b>Composition de la phase organique</b>	<b>31</b>
6.4	<b>Estimation des surfaces et volumes des zones sources – interprétation des PID et analyses de sols</b>	<b>32</b>
6.4.1	Interprétation des mesures PID et des analyses de sols	32
6.4.2	Synthèse des zones sources	33
6.4.3	Estimation des surfaces et volumes des zones sources	34
6.5	<b>Estimation du débit de la nappe et du flux de pollution en limite aval des zones sources 2 et 3</b>	<b>36</b>
6.6	<b>Estimation de la durée de vie des zones sources</b>	<b>37</b>
6.7	<b>Impact dans le temps de l'enlèvement des zones sources sur la qualité de l'eau de nappe</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Mise à jour du schéma conceptuel</b>	<b>39</b>
7.1	<b>Les sources de pollution par les COHV</b>	<b>39</b>
7.2	<b>Vecteurs et Cibles sur site</b>	<b>39</b>
7.2.1	Les voies de transfert de la source de pollution sur site	39
7.2.2	Les cibles sur site	40

<b>7.3 Vecteurs et enjeux hors site</b>	<b>40</b>
7.3.1 Les enjeux hors site	40
7.3.2 Les voies de transfert de la source de pollution hors site	40
7.3.3 Les voies d'exposition possibles	41
<b>8 Etude des solutions de gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines</b>	<b>42</b>
<b>8.1 Rappel des hypothèses prises en compte</b>	<b>42</b>
<b>8.2 Enjeux et objectifs des mesures de gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines</b>	<b>42</b>
<b>8.3 Les types d'approches envisageables pour la gestion du site</b>	<b>43</b>
8.3.1 Dépollution par traitement des zones sources (suppression ou diminution du stock de phase organique)	43
8.3.2 Les dispositifs de confinement (désactivation des voies de transfert via les eaux souterraines)	48
8.3.3 L'atténuation Naturelle sous Surveillance	50
<b>8.4 Bilan coût avantage des techniques de traitement et de confinement des zones sources</b>	<b>51</b>
<b>8.5 Choix des solutions retenues par SAFT</b>	<b>56</b>
8.5.1 Un confinement par pompage du forage industriel existant	56
8.5.2 Un confinement par un barrage hydraulique	56
8.5.3 Atténuation naturelle surveillée	57
<b>9 Conclusions</b>	<b>58</b>

## TABLEAUX

Tableau 1 :	Occupation des sols dans le voisinage proche du site SAFT
Tableau 2 :	Usage des eaux souterraines recensé par la BSS
Tableau 3 :	Usage des eaux souterraines recensé lors de l'enquête de quartier d'avril 2010
Tableau 4 -	Liste des composés organo-chlorés aliphatiques
Tableau 5 -	Liste des paramètres analysés sur les eaux souterraines
Tableau 6 -	Seuils théoriques de concentrations en COHV représentatifs de la présence de phase organique pour les sources 2 et 3- calculs et étude de sensibilité
Tableau 7 -	Estimation indicative des volumes de zones sources suivant une hypothèse basse et une hypothèse haute
Tableau 8 -	Débits des nappes alluvionnaires et flux de COHV transportés par la nappe en limite aval des zones sources identifiées
Tableau 9 -	Présentation de techniques de traitement et de confinement des zones sources envisageables et critères de choix
Tableau 10 -	Bilan coût-avantage pour les solutions de traitement des zones sources (réduction du stock de phase organique)
Tableau 11 -	Bilan coût-avantage pour les solutions de désactivation des voies de transfert

## FIGURES

- Figure 1 - Diagraphie des concentrations en COHV dans les eaux souterraines au droit du sondage I4
- Figure 2 - Diagraphie des concentrations en COHV dans les eaux souterraines au droit du sondage II4
- Figure 3 - Diagraphie des concentrations en COHV dans les eaux souterraines au droit du sondage III7
- Figure 4 - Illustrations de différentes méthodes in-situ permettant une réduction des stocks de polluants dans les sols
- Figure 5 - Schéma d'une barrière réactive

Hors texte :

**Figure A : Localisation du site sur un extrait de la carte IGN 1/25000 de Bordeaux**

**Figure B : Contexte géologique et situation du site sur la carte géologique au 1/50 000 de Bordeaux**

**Figure C : Usage des eaux souterraines dans le secteur de SAFT (données BSS et Aquila Conseil, 2000)**

**Figure D : Synthèse de l'enquête de quartier concernant l'occupation des sols et l'usage des eaux souterraines**

**Figure E : Plan de masse du site et implantation des piézomètres**

**Figure F : Implantations des investigations réalisées au droit de la zone 1**

**Figure G : Implantations des investigations réalisées au droit de la zone 2**

**Figure H : Implantations des investigations réalisées au droit de la zone 3**

**Figure I : Esquisse piézométrique établie à partir des mesures du 11/07/2007**

**Figure J : Esquisse piézométrique établie à partir des mesures du 12/07/2007**

**Figure K : Esquisse piézométrique établie à partir des mesures du 20/07/2007**

**Figure L : Esquisse piézométrique établie à partir des mesures du 06/08/2008**

**Figure M : Cartographie des diagraphies des concentrations en COHV dans les sols pour la zone 2**

**Figure N : Cartographie des diagraphies des concentrations en COHV dans les sols pour la zone 3**

**Figure O : Schéma conceptuel mis à jour**

**Figure P : Implantation proposée des piézomètres complémentaires**

## ANNEXES

- Annexe 1- Copies de l'A.P. du 24 avril 2007, Lettre DRIRE du 21 avril 2008
- Annexe 2- Synthèse de l'historique et du diagnostic réalisés en 1999/2000
- Annexe 3- Complément d'historique réalisé par la société MAVESA
- Annexe 4- Protocole MACAOH d'échantillonnage et d'analyses des sols
- Annexe 5- Protocole d'échantillonnage et d'analyses d'eaux interstitielles
- Annexe 6- Tableau de synthèse des mesures piézométriques réalisées sur le site SAFT en 2007 et 2008
- Annexe 7 - Fiches de prélèvements des eaux souterraines
- Annexe 8- Bordereaux d'analyses du laboratoire pour les eaux souterraines
- Annexe 9- Tableau et figure de synthèse des résultats analytiques obtenus à l'issue des campagnes de prélèvements et d'analyses des eaux souterraines réalisées en Juillet 2007 et Août 2008.
- Annexe 10- Coupes de sondages de sols
- Annexe 11- Diagraphies des mesures PID semi-quantitatives et cartographies
- Annexe 11-1- Diagraphies des mesures PID semi-quantitatives pour la zone 1
- Annexe 11-2- Diagraphies des mesures PID semi-quantitatives pour la zone 2
- Annexe 11-3- Diagraphies des mesures PID semi-quantitatives pour la zone 3
- Annexe 12- Bordereaux d'analyses du laboratoire pour le milieu sol et tableaux de synthèse des résultats analytiques
- Annexe 13- Bordereaux d'analyses du laboratoire pour le milieu « eaux interstitielles »
- Annexe 14- Tableau de synthèses des résultats analytiques obtenus pour les eaux interstitielles

## 1 Objet

SAFT, spécialiste mondial de la conception et de la production de batteries de haute technologie pour l'industrie possède un site sur Bordeaux (Gironde 33), dont la superficie avoisine 8 ha (Cf. **figure A**).

Des études environnementales menées de 1999 à 2007 sur la qualité du sous-sol ont montré des anomalies en solvants chlorés (composés organo-chlorés aliphatiques ou COHV) tant sur les sols que sur les eaux de la nappe.

Dans le cadre de l'arrêté préfectoral (A.P.) du 24 avril 2007, et dans la continuité des études environnementales antérieures menées au droit de son site, SAFT a confié à BURGEAP la réalisation d'un diagnostic de pollution complémentaire visant à :

- mieux cerner la nature et la géométrie des zones sources ainsi que les conditions de migration des composés organo-chlorés aliphatiques vers de possibles milieux d'exposition ;
- établir un bilan coût-avantage des différentes techniques de dépollution.

Ce rapport présente la méthodologie retenue pour répondre aux attentes pré-citées, les résultats des investigations de terrain et l'identification des techniques de dépollution les plus pertinentes au regard des sources de pollution rencontrées.

*NB : la complexité du comportement physico-chimique des composés rencontrés dans le contexte environnemental propre au sous-sol de l'usine de SAFT, impose de développer un long raisonnement scientifique afin de définir les meilleures orientations de gestion. Aussi, pour faciliter la lecture de ce document, BURGEAP a établi à l'issue de certains chapitres, un bref résumé indiqué en grisé.*

## 2 Cadre d'intervention et contexte réglementaire

Sur la base de la surveillance de la qualité des eaux souterraines mise en place depuis 2001 sur le site SAFT de BORDEAUX, la préfecture de la Gironde note, par courrier du 13 Mars 2007, "qu'il persiste au droit du site une ou plusieurs sources de pollution par des produits chlorés, responsables de la qualité dégradée de la nappe, et qu'il convient d'étudier l'extension de cette pollution afin de définir les moyens à mettre en œuvre pour la supprimer".

A ce titre, elle demande par arrêté préfectoral (A.P.) du 24 avril 2007, présenté en **annexe 1**, de faire « réaliser par un organisme compétent, l'étude de caractérisation de l'état de contamination des milieux par les solvants chlorés et de son environnement, d'interpréter cet état et de proposer une solution de gestion adéquate (Art. 1<sup>er</sup>) ».

L'article 2 de l'A.P. indique que "l'exploitant est tenu de construire un schéma conceptuel permettant d'identifier, de localiser et de caractériser les sources éventuelles à l'origine des pollutions et les voies de transfert possibles, puis de caractériser les impacts de la source sur l'environnement, sur la base des éléments de diagnostic du site et des milieux, au travers de l'étude historique et documentaire, des données sur la vulnérabilité des milieux et des prélèvements de terrain".

L'article 3 précise : "à partir du schéma conceptuel et sur la base d'un bilan coût-avantages décrivant les possibilités techniques et économiques correspondantes, l'exploitant doit proposer les mesures de gestion qu'il mettra en œuvre pour supprimer les sources de pollution, désactiver ou maîtriser les voies de transfert, traiter la nappe".

### 3 Etude documentaire et historique

#### 3.1 Contexte environnemental

Le contexte environnemental a été étudié à l'occasion d'un premier rapport BURGEAP (Cf. rapport BURGEAP Rbx534a de décembre 2007) ; la description qui suit est tirée de cette première étude.

##### 3.1.1 Situation géographique

Le site étudié est localisé au Nord de Bordeaux, au 111 Boulevard Alfred Daney (département de la Gironde), à 1,5 km environ au Nord-Ouest de la Garonne. La **figure A** présente son implantation sur un extrait de la carte IGN 1536 Ouest de Bordeaux. Il s'étend sur une surface de 8 ha à une altitude comprise entre +2 et +3 m NGF.

L'usage des terrains directement limitrophes du site est le suivant :

- au Nord : voies de chemin de fer et dépôt SNCF ;
- à l'Est : une entreprise de recyclage de pièces métalliques ;
- au Sud : le boulevard Alfred Daney et, au-delà de cet axe, une annexe des ateliers municipaux ;
- à l'ouest : le centre Technique du Bois Aquitain (CTBA).

##### 3.1.2 Contexte géologique

Le site SAFT est localisé au droit d'une ancienne zone de marais asséchée et viabilisée par la mise en place de remblais et de fossés de drainage. Cet ancien marais correspond aux alluvions fluviales récentes de la Garonne. D'après la notice de la carte géologique au 1/50000 de Bordeaux, éditée par le BRGM (Cf. **figure B**), ces formations alluvionnaires sont constituées d'argiles grises à passées tourbeuses.

D'après les coupes géologiques relevées lors de la réalisation du forage industriel de la société SAFT (n° BSS : 08036X0485) et du forage à usage AEP de la rue Lucien Faure (n°BSS :08036X0019), les terrains rencontrés, au droit du secteur d'étude, sont :

- 13 à 20 m d'épaisseur : formations quaternaires – limons surmontant des sables graveleux ;
- 60 m d'épaisseur environ : formations de l'Oligocène inférieur – argiles et molasses ;
- 40 m d'épaisseur environ : formations de l'Eocène supérieur – Argiles, marnes sableuses et calcaire grossier ;
- 110 m d'épaisseur : formations de l'Eocène moyen et de l'Eocène inférieur – calcaires sableux.

Soulignons ici que les coupes de sols relevées lors des précédents diagnostics soulignent la présence de remblais (sables et graviers dans une matrice plus ou moins argileuse) sur une épaisseur pouvant atteindre 2 mètres.

##### 3.1.3 Contextes hydrologique et hydrogéologique

Le site est localisé en rive gauche de la Garonne qui s'écoule à 1,50 km au Sud-Est.

En limite nord du site, une tranchée en eau a été identifiée. Elle est en partie comblée par des sédiments fins sur une épaisseur de 1 m environ. Une lame d'eau surmonte ces sédiments. En juillet 2007, étant donnée la profondeur du toit de la nappe mesurée au droit de P4, l'un des piézomètres du site (profondeur supérieure à 2m), il est probable que cette tranchée était une zone d'infiltration des eaux superficielles vers la nappe.

Par ailleurs, notons la présence d'aménagements hydrauliques à proximité du site ; ainsi, à 200 m environ au Sud-Est du site se trouve le bassin à flot n°2. Ce bassin n'est actuellement plus utilisé ; à environ 1 km au Nord du site, se trouve le Lac qui fait l'objet d'activités récréatives telles que la voile.

Du point de vue du contexte hydrogéologique, les nappes susceptibles d'être rencontrées dans le secteur d'études sont :

- **la nappe libre contenue dans les alluvions modernes de la Garonne** constituées par des argiles sableuses à passées tourbeuses. D'après la synthèse bibliographique cette nappe s'écoulerait en direction du Nord-Ouest, vers le Lac de Bordeaux ;
- **la nappe contenue dans les alluvions anciennes sablo-graveleuses de la Garonne.** Cette nappe serait naturellement captive sous l'horizon d'alluvions modernes et s'écoulerait, comme la nappe libre, vers le Nord-Ouest, en direction du Lac. Le mur de cette nappe est constitué par les marnes de l'Oligocène inférieur, d'une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres ;
- **la nappe contenue dans l'aquifère éocène (calcaires gréseux).** Cette nappe est naturellement captive sous la ville de Bordeaux. Cette nappe dite profonde n'est pas en relation hydraulique directe avec la nappe des alluvions sous-flandriennes, les marnes oligocènes constituant un horizon quasiment imperméable. Fortement sollicitée, cette ressource fait l'objet de mesures de protection tant du point de vue quantitatif que qualitatif (SAGE Eaux profondes).

Notons en surface la présence de niveaux d'eau temporaires pouvant constituer une nappe peu puissante et plus ou moins productive dans l'horizon des remblais. Ces eaux de subsurface circulent au-dessus des argiles tourbeuses, dont le toit est globalement rencontré entre 1 et 2 m de profondeur.

### 3.1.4 Utilisation de la ressource en eaux souterraines

Outre le forage industriel exploité par l'usine de SAFT (cf. chapitre 4.1.4.3.), l'usage de ces ressources en eaux souterraines, à proximité du site a été approché par consultation de la DDASS et de la BSS (Banque de données du Sous-Sol gérée par le BRGM). Cette recherche a été complétée par une enquête de terrain en date du 6, 7 et 12 avril 2010.

#### 3.1.4.1 Usage collectif des eaux souterraines - Alimentation en Eau Potable AEP

Les captages AEP collectifs recensés après une analyse des données BSS, dans un rayon de 1,5 km autour du site sont :

- le captage AEP de la rue Lucien Faure (n°BSS : 08036X0019) qui est localisé à 250 m au Sud-Est du site ;
- le captage AEP de Bourbon (n°BSS : 08036X0018) qui est localisé à 1400 m au Sud-Est du site.

Ils sont localisés en **Figure C**.

La nappe exploitée par ces deux captages est celle contenue dans les formations calcaires éocènes. Elle est protégée d'infiltrations de surface et le périmètre de protection de ces captages est limité à leurs environs immédiats. **Ainsi, la ressource exploitée pour un usage AEP collectif, à proximité du site, n'est pas susceptible d'être impactée par une pollution générée par l'usine SAFT.**

#### 3.1.4.2 Usage individuel ou collectif (autre qu'AEP) des eaux souterraines à proximité du site

Dans un rayon de 1 km, la BSS recense des forages captant les alluvions et faisant l'objet :

- soit d'un usage collectif autre qu'AEP ;
- soit d'un usage agricole (un seul forage est identifié à 1 km au Nord-Ouest du secteur d'étude) ;
- soit d'un usage privatif.

Ces forages sont localisés en **figure C** et décrits dans le tableau suivant.

**Tableau 1 : Usage des eaux souterraines recensé par la BSS**

Référence BSS	Localisation par rapport à Saft	Profondeur du puits	Nappe captée	Usage	Commentaire
08036X0459/FP1	Nord-Est	16,41 m	Nappe des alluvions	Puits filtre des bassins à flots	Propriétaire présumé: Port Autonome de Bordeaux Point nivelé en NGF Capacité : 3500 à 4000 m <sup>3</sup> /jour Date exécution : 1950/1951 Après consultation du Port Autonome de Bordeaux, il nous a été indiqué que ces puits n'étaient plus localisés sur le domaine géré par le Port Autonome
08036X0459/FP2	Nord-Est	16.83 m			
08036X0459/FP1	Nord	18.86 m			
08036X0459/FP1	Nord	17.43 m			
08036X0186/F	Nord	30 m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. Davezac
08036X0184/F	Nord-Ouest	15 m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. Auclair Date exécution : 1927/1928
08036X0188/F	Nord	?	?	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. CURAT
08036X0187/F	Nord	?	?	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. CURAT
08036X3553/F	Ouest	19m	Nappe des alluvions	Industriel	Non utilisé
08036X0797/F	Nord-Ouest	15.75 m	Nappe des alluvions	Agricole	Propriétaire en 1971 : Société Agricole du Tasta
08036X2444/F	Ouest	13m	Nappe des alluvions	Service publique (arrosage)	Propriétaire en 1993 : Ville de Bordeaux Débit nominal : 40m <sup>3</sup> /h Débit vanné : 26 m <sup>3</sup> /h
08036X0199/F	Ouest	2.35m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : Mme. TELLIER
08036X0325/F	Sud-Ouest	3.2 m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. GAGNEBIN
08036X00119/F2 08036X00118/F1	Sud-Est	19.3 et 16 m	Nappe des alluvions	Industriel	Propriétaire en 1962 : la STEP F1 arrêté en 1961 et remplacé par F2
08036X0344/F	Sud	17 m	Nappe des alluvions	Industriel	Propriétaire en 1962 : Société des docks frigorifiques
08036X0198/F	Sud-Ouest	2.9 m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. LASSALLE

Ces informations ont été complétées et actualisées grâce à l'enquête menée sur le terrain les 6, 7 et 12 avril. Celle-ci s'est focalisée sur les secteurs localisés à l'Ouest et au Nord du site, soit en aval hydraulique de l'usine (cf. § 3.1.2).

**Tableau 1 : Usage des eaux souterraines recensé par la BSS**

Référence BSS	Localisation par rapport à Saft	Profondeur du puits	Nappe captée	Usage	Commentaire
08036X0459/FP1	Nord-Est	16,41 m	Nappe des alluvions	Puits filtre des bassins à flots	Propriétaire présumé: Port Autonome de Bordeaux Point nivelé en NGF Capacité : 3500 à 4000 m <sup>3</sup> /jour Date exécution : 1950/1951 Après consultation du Port Autonome de Bordeaux, il nous a été indiqué que ces puits n'étaient plus localisés sur le domaine géré par le Port Autonome
08036X0459/FP2	Nord-Est	16.83 m			
08036X0459/FP1	Nord	18.86 m			
08036X0459/FP1	Nord	17.43 m			
08036X0186/F	Nord	30 m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. Davezac
08036X0184/F	Nord-Ouest	15 m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. Auclair Date exécution : 1927/1928
08036X0188/F	Nord	?	?	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. CURAT
08036X0187/F	Nord	?	?	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. CURAT
08036X3553/F	Ouest	19m	Nappe des alluvions	Industriel	Non utilisé
08036X0797/F	Nord-Ouest	15.75 m	Nappe des alluvions	Agricole	Propriétaire en 1971 : Société Agricole du Tasta
08036X2444/F	Ouest	13m	Nappe des alluvions	Service public (arrosage)	Propriétaire en 1993 : Ville de Bordeaux Débit nominal : 40m <sup>3</sup> /h Débit vanné : 26 m <sup>3</sup> /h
08036X0199/F	Ouest	2.35m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : Mme. TELLIER
08036X0325/F	Sud-Ouest	3.2 m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. GAGNEBIN
08036X00119/F2 08036X00118/F1	Sud-Est	19.3 et 16 m	Nappe des alluvions	Industriel	Propriétaire en 1962 : la STEP F1 arrêté en 1961 et remplacé par F2
08036X0344/F	Sud	17 m	Nappe des alluvions	Industriel	Propriétaire en 1962 : Société des docks frigorifiques
08036X0198/F	Sud-Ouest	2.9 m	Nappe des alluvions	Individuel	Propriétaire en 1962 : M. LASSALLE

Ces informations ont été complétées et actualisées grâce à l'enquête menée sur le terrain les 6, 7 et 12 avril. Celle-ci s'est focalisée sur les secteurs localisés à l'Ouest et au Nord du site, soit en aval hydraulique de l'usine (cf. § 3.1.2).

Les informations recueillies sont synthétisées dans le tableau suivant.

**Tableau 2 : Usage des eaux souterraines recensé lors de l'enquête de quartier d'avril 2010**

Référence du puits en figure D	Localisation du puits	Profondeur	Usages	Description
P <sub>A</sub>	Ferme pédagogique en latéral hydraulique	18,86 m (évaluée par recoupement avec les données de la BSS)	Arrosage des espaces verts et nettoyage de la ferme	- La pompe est actuellement cassée et sera remise en état dans les prochains mois. - L'accès au puits étant encombré lors de notre visite, aucune mesure de profondeur n'a pu être réalisée. - D'après la banque de données du sous-sol du BRGM (BSS), le forage n° 08036X0461/FP3 est localisé à l'emplacement exact de ce puits => profondeur correspondante de ces ouvrages : 18,86m.
P <sub>B</sub>	1 particulier rue Durin en aval latéral	3 m	Arrosage des jardins et potagers	- Cet ouvrage existerait depuis une centaine d'années. - Eau de couleur jaune. - Des traces d'irisations seraient apparues il ya une vingtaine d'années et persisteraient encore aujourd'hui

De ces recherches, il ressort que :

- des puits de particuliers sont recensés à moins de 500 m à l'aval latéral du site. Leur usage est principalement l'arrosage des jardins ;
- l'usage de puits privés pour l'alimentation en eau potable est peu probable considérant que toutes les habitations sont reliées au réseau d'alimentation en eau potable et que la qualité de l'eau de la nappe de surface est médiocre ;
- aucune piscine n'a été recensée en aval du site ;
- enfin, les jardins familiaux présents en aval hydraulique sont alimentés par l'eau de ville.

En résumé, la sensibilité des milieux environnants de SAFT est avérée, compte tenu de l'usage des eaux souterraines captées en aval hydraulique immédiat de SAFT, tant dans la nappe des remblais (bien que cette ressource ne soit pas parfaitement continue) que dans la nappe des alluvions récentes ou dans celle des sables et graviers sous-jacents à l'horizon tourbeux.

### 3.1.4.3 Forage industriel de SAFT

L'usine de SAFT exploite au sein de son site, un forage captant les horizons des sables et graviers sous-flandrien. Cet ouvrage réalisé en buses maçonnées de 1,5 m de diamètre, capte la ressource par le biais de drains rayonnants, ancrés horizontalement, à 13 m de profondeur.

Le débit d'exploitation actuel du site est de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/h en discontinu. Les eaux prélevées sont traitées dans la station d'épuration de SAFT avant d'être rejetées dans le réseau pluvial. L'exutoire de ces eaux est la Garonne.

### 3.1.5 Occupation des sols en aval hydraulique du site de SAFT

L'occupation des sols dans le voisinage proche du site a été déterminée grâce à la visite du quartier menée les 6, 7 et 12 avril 2010. Une synthèse est présentée dans le tableau suivant et illustrée par la **figure D**. Cette enquête s'est focalisée sur les secteurs localisés à l'Ouest et au Nord du site, soit en aval hydraulique du site (cf. § 3.1.3).

Tableau 3 : Occupation des sols dans le voisinage proche du site SAFT

Types	Distance au secteur d'étude	Description
Jardins familiaux	200 m Aval hydraulique	- Destinés aux habitants de la résidence du Lac, quartier des Aubiers. - Gérés par la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) à travers l'association des « Jardins d'Aujourd'hui ».
Ferme pédagogique	< 300 m Aval latéral	Centre d'animation pour les enfants avec des animaux de ferme.
Ecoles primaires ou maternelles	300 m Aval hydraulique	2 écoles sont localisées de part et d'autre du quartier des Aubiers.
Habitations individuelles	Rues Durin, Lejeune et Prévost. (à 300 m environ)	- Présence de jardins potagers
Résidences et logements sociaux	Entre 200 et 500m En aval hydraulique	- «La Résidence du Lac » comprenant le quartier des Aubiers et celui du Lauzin
Entreprises et Industries	Entre 500 m et 2 km en latéral hydraulique	Situées principalement autour des grands axes (l'allée de Boutaut, le boulevard du parc des expositions et la rue Jean Claudeville)

Il ressort de cette visite de quartier que le site est situé dans un environnement mixte, incluant des installations industrielles et des zones à prédominance résidentielle. En aval du site, au Nord-ouest, au-delà des anciennes voies de chemins de fer, les usages des terrains sont résidentiels (prédominance d'immeubles collectifs), collectifs (écoles) et récréatifs (espaces verts, jardins familiaux, base nautique).

### 3.2 Etude historique

Une première étude historique a été menée en 2000 par le bureau d'étude KREBS-SPEICHIM et a été présentée dans le rapport référencé 00TE1629/BNT-FRD-LPO - Rev.

Elle a été complétée par SAFT en 2010. Le compte-rendu de ce complément est présenté en **annexe 3**.

Il ressort de cette synthèse que les zones les plus suspectes où une pollution des COHV a pu avoir lieu sont les suivantes :

- les Bâtiments 2 / 2bis (cf. plan de masse du site présenté en **figure E**), qui sont les plus anciens bâtiments du site. Des pollutions diffuses par des COHV ont pu avoir lieu dans ces bâtiments lors des activités de maintenance d'autorails par la société BUGATTI. Il n'y a pas eu d'usage important de solvants dans cette partie du site par SAFT ;
- la zone au Nord du Bâtiment 1bis où des solvants (PCE, TCE) ont été stockés en fûts dans une zone non étanchéifiée jusqu'en fin 2002/début 2003. Des déversements ont pu avoir lieu dans cette zone ;
- une zone au centre du site englobant le Bâtiment 3, le Bâtiment 6 et le Sud du Bâtiment 7 où les utilisations de solvants chlorés par SAFT ont été les plus conséquentes. Des infiltrations de solvants vers le sous-sol ont pu avoir lieu à cause de mauvaises pratiques ou d'équipements fournissant une rétention insuffisante aux solvants chlorés.

Des activités de maintenance ont été réalisées dans les Bâtiments 1 et 4 et ont pu mettre en œuvre des solvants chlorés pour le dégraissage de pièces. Ces activités ont pu induire des impacts diffus. Du PCE a également été utilisé dans le Bâtiment 12 pour la préparation des brais mais les quantités mises en œuvre étaient faibles (environ 20 kg/an) et il est donc peu vraisemblable que ces activités aient induit des impacts importants.

## 4 Méthodologie retenue

### 4.1 Motivations et méthodologie générale

*NB : ce chapitre fait l'objet d'un résumé spécifique que le lecteur trouvera en fin de l'exposé qui suit.*

La méthodologie mise en œuvre pour cette étude est basée sur la circulaire en vigueur du Ministère en charge de l'environnement portant sur les modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués et ses annexes. Ainsi la réflexion s'appuie sur le « **schéma conceptuel** » de la pollution, dont une première approche a été bâtie à l'issue du rapport RBx534a. Les études précédentes et notamment les niveaux de concentrations en COHV mesurés en nappe ont montré qu'il existait sur le site plusieurs « zones sources de pollution. –Il s'agit probablement pour l'essentiel d'une imprégnation dite « résiduelle », c'est-à-dire que le solvant pur est retenu par les forces capillaires des grains du terrain et/ou par adsorption sur la matière organique abondante dans les terrains argilo-tourbeux. Le produit en phase pure ne peut plus s'écouler sous forme liquide. Ces zones sont classiquement localisées à l'aplomb des endroits où ont eu lieu les pertes, fuites, déversements, etc. Typiquement, ce sont des zones de dimensions réduites (surfaces de quelques m<sup>2</sup> à quelques dizaines de m<sup>2</sup>).

A partir de ces « zones sources », les composés organiques diffusent dans l'environnement, via les eaux souterraines sous forme dissoute (dissolution), et/ou via l'air du sol sous forme de vapeurs (volatilisation).

Le périmètre dans lequel les eaux souterraines sont impactées par les COHV dissous constitue le « panache de polluants dissous ».

La connaissance précise des « zones sources » (géométrie, volumes de sols et taux de saturation en phase organique, nature des composés) est de première importance, ces grandeurs impactant directement sur la durée de vie d'une zone source (c'est-à-dire la durée durant laquelle de la phase organique va se dissoudre dans l'eau de nappe) et sur le choix de la technique de dépollution.

La localisation d'une zone source est un objectif difficile à atteindre en raison de sa taille généralement limitée vis-à-vis de la taille du panache et des (très) fortes hétérogénéités de répartition des organo-chlorés dans le milieu souterrain.

La recherche directe de phase organique par le biais de prélèvements et d'analyses de sols est rarement couronnée de succès. Ce constat a motivé la mise en œuvre de différents projets de Recherche & Développement, dont l'un des plus récents est le projet MACAOH (Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les Aquifères des Organo-Halogénés).

Engagé par l'ADEME en 2001, le **projet MACAOH** concerne le comportement et le devenir des composés organo-chlorés aliphatiques dans les aquifères. Ce projet a été réalisé par un groupement composé d'un bureau d'études, BURGEAP (coordonnateur) et de trois organismes de recherche, l'IFP (Institut Français du Pétrole), l'IMFS/IFARE (Institut de Mécanique des Fluides et des Solides de Strasbourg / Institut Franco-Allemand de Recherche sur l'Environnement) et l'IMFT (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse). Réalisé sur 5 ans (2001-2006), il est structuré autour de trois thèmes : la caractérisation des zones sources, l'atténuation naturelle et la modélisation numérique.

Les objectifs visés étaient, d'une part, de contribuer à combler des lacunes en matière de compréhension et de connaissances appliquées et, d'autre part, d'élaborer trois guides méthodologiques relatifs aux thèmes « Caractérisation des zones sources » « Atténuation naturelle » et « Modélisation ». Ces trois guides sont actuellement référencés parmi les outils méthodologiques de la nouvelle politique de gestion des sites potentiellement pollués mise en place par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (<http://www.sites-pollues.ecologie.gouv.fr/OutilsMethodologiquesMO.html>).

En résumé, l'étude menée pour répondre aux attentes de SAFT, a été établie conformément :

- à la circulaire du Ministère en charge de l'Environnement portant sur les modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués en vigueur et ses annexes ;
- aux guides méthodologiques du protocole MACAOH (Modélisation, Atténuation, Caractérisation dans les Aquifères des Organo-Halogénés).

## 4.2 La méthodologie retenue sur le site de SAFT

La méthodologie engagée sur le site de Saft, à Bordeaux, dans le cadre du diagnostic complémentaire d'août 2008, se fonde sur les méthodologies MACAOH, et plus particulièrement sur le guide « Caractérisation des zones sources ». Elle a consisté en :

- **Phase I** : campagne de relevés piézométriques synchrones sur les ouvrages du site, prélèvements et analyses des eaux souterraines permettant de caractériser la qualité de la nappe en août 2008 et de comparer celle-ci aux résultats de la campagne de juillet 2007 ;
- **Phase II** : dans les 3 secteurs où l'on suspecte la présence d'une ou plusieurs zone(s) source(s), réalisation de sondages carottés et mesures in-situ au PID (Déecteur à photoionisation) de manière à réaliser une diagraphie semi-quantitative des concentrations en COV dans l'air des sols et ainsi d'identifier les horizons susceptibles d'être les plus impactés par la présence de COHV ;
- **Phase III** : en fonction des résultats des mesures in-situ au PID, prélèvements d'échantillons de sols pour analyse, pour une caractérisation chimique plus détaillée ;
- **Phase IV** : prélèvements d'eaux interstitielles à différentes profondeurs au cœur de la zone reconnue comme la plus impactée lors des mesures de terrain menées en phase II.

Ainsi, au total, les reconnaissances réalisées en août 2008, conformément à la méthodologie précitée, ont comporté :

- **Phase I** : des prélèvements d'eaux souterraines sur 5 piézomètres du site (cf. implantation en **figure E**) ; chaque échantillon d'eaux souterraines a fait l'objet d'un programme d'analyses suivant le protocole MACAOH de manière à caractériser le panache de composés dissous en nappe et d'évaluer l'efficacité des phénomènes de biodégradation ;
- **Phase II** : 21 sondages carottés sous gaine (cf. implantation en **figures F, G et H**). L'outil de foration a rencontré un refus au niveau de l'horizon de graviers et galets présents au toit des marnes. Le substratum marneux n'a donc pas pu être atteint ;
- **Phase III** : 40 analyses de COHV dans les sols ;
- **Phase IV** : 3 lignes verticales de prélèvements d'eaux interstitielles comportant chacune 3 points de prélèvements au sein des alluvions sablo-graveleuses. La quantité d'eau prélevée au niveau des tourbes et argiles de surface était insuffisante pour confectionner un échantillon propre à être analysé.

### 4.3 Descriptif de la méthode des sondages carottés avec analyses multi-niveaux

A partir de la caractérisation de la qualité de la nappe (phase I) et de notre connaissance de l'évolution historique des activités du site, les phases II et III ont pour objectif de déterminer de manière plus précise la localisation et la géométrie des zones sources<sup>1</sup> et d'appréhender leur composition chimique, le volume de sols et la présence/absence de phase organique (le seuil de présence de phase organique peut être approché, par le calcul, à partir des saturations en phase organique déduites des concentrations en organo-chlorés dans les sols).

La méthode comprend 3 étapes :

- **Etape 1** : réalisation de sondages carottés sous gaine, avec échantillonnage multi-niveaux des sols, le choix des échantillons de sols étant guidé par les résultats des mesures PID *in-situ* (mesures PID réalisées selon un pas de mesures de 30 cm environ). En effet, le détecteur à photoionisation permet, sur site, d'obtenir une réponse semi-quantitative dont l'amplitude est fonction des concentrations en Composés Organiques Volatils (COV) dans l'air des sols. Cette réponse dépend également et notamment de la nature des terrains et de leur saturation en eau.

Les COHV étant les COV présents de manière prépondérante sur le site SAFT, pour un même type de sol, il peut être réalisé une corrélation qualitative entre les concentrations en COHV mesurées par le PID et les concentrations totales en COHV dans les sols (soit en phase gazeuse, en phase dissoute, en phase adsorbée et en phase organique). Ainsi, il peut être retenu, de manière simplifiée, qu'au droit d'un même sondage et pour un même type de sols, les horizons où les plus fortes réponses du PID sont obtenues, correspondent à des horizons particulièrement chargés en COHV. Par ailleurs, un constat d'absence/présence de COHV dans les sols peut être réalisé ;

- **Etape 2** : analyses en laboratoire des concentrations en COHV dans les sols ;
- **Etape 3** : interprétation des concentrations dans les sols en taux de saturation en phase organique.

La méthodologie d'échantillonnage et d'analyses des sols est fondée sur le guide MACAOH « Caractérisation des zones sources ». Elle a pour objectif de réduire au maximum les incertitudes induites par les hétérogénéités du polluant dans le sol, le mode d'échantillonnage, de conservation et d'analyse en laboratoire (pertes par volatilisation, erreur de dilution ou de report de données, ...).

Le protocole MACAOH d'échantillonnage et d'analyses des sols est décrit en **annexe 4**.

La liste des composés organo-chlorés aliphatiques recherchés en laboratoire est rappelée dans le tableau suivant.

<sup>1</sup> Zone source : zone où le sol est « imprégné » de COHV sous forme de phase organique (la présence de phase organique pouvant être associée à une concentration « seuil » en COHV dans les sols calculée à partir des saturations en phase organique déduites des concentrations en organo-chlorés dans les sols)

Famille	Composé
Chloroéthènes	Tétrachloroéthène
	Trichloroéthène
	1,1-dichloroéthène
	Cis-1,2-dichloroéthène
	Trans-1,2-dichloroéthène
	Monochloroéthène (chlorure de vinyle)
Choroéthanes	Hexachloroéthane
	Pentachloroéthane
	1,1,1,2-tétrachloroéthane
	1,1,2,2-tétrachloroéthane
	1,1,1-trichloroéthane
	1,1,2-trichloroéthane
	1,1-dichloroéthane
	1,2-dichloroéthane
	Chloroéthane
Chlorométhanes	Tétrachlorométhane
	Trichlorométhane
	Dichlorométhane
	Chlorométhane

**Tableau 3 - Liste des composés organo-chlorés aliphatiques**

#### 4.4 Descriptif de la méthode des prélèvements d'eaux interstitielles

A partir des résultats de terrain de la phase II, des secteurs particulièrement impactés par la présence de COHV dans les sols ont pu être reconnus et associés à des zones d'infiltration probables de produits purs.

Au droit de ces secteurs, de manière à identifier les horizons impactés par la présence de phase organique et caractériser l'impact de ces zones sources sur la qualité de la nappe à différentes profondeurs, des prélèvements d'eaux souterraines interstitielles ont été réalisés.

Le protocole d'échantillonnage et d'analyses d'eaux interstitielles est précisé en **annexe 5**.

Ces prélèvements consistent en enfoncer, grâce à une machine GEOPROBE<sup>®</sup>, une crépine, en PVC ou acier inoxydable, protégée par un cache. Au cours de la réalisation du sondage, ce système reste étanche et protégé de toute infiltration d'eaux souterraines. Une fois la profondeur de prélèvement atteinte, le cache de la crépine est relevé et les eaux souterraines (eaux interstitielles) présentes dans l'horizon situé en face de la crépine peuvent être échantillonnées.

Sur le site SAFT, cette méthode n'a pas permis de récupérer suffisamment d'eaux souterraines dans les horizons argilo-tourbeux pour constituer un échantillon. Aussi, les prélèvements d'eaux souterraines interstitielles ont été réalisés uniquement de la base des alluvions récentes (plus sableuses) jusqu'au toit de l'horizon de galets et graviers situé au toit des marnes, cet horizon de galets et graviers n'ayant pas pu être traversé par l'outil de sondage.

Les eaux souterraines ainsi prélevées sur site ont été conditionnées en flacons adaptés et conservées en milieu réfrigéré jusqu'à réception par le laboratoire.

Les paramètres recherchés en laboratoire sur ces eaux interstitielles sont rappelés dans le tableau 4 ci-après.

FAMILLES	COMPOSES
<b>COMPOSES ORGANO-CHLORES ALIPHATIQUES</b>	
Chloroéthènes et intermédiaires métaboliques	PCE
	TCE
	cis-DCE
	trans-DCE
	1,1-DCE
	CV
	Ethène
	Ethane
Chloroéthanes et intermédiaires métaboliques	HCA
	PeCA
	1,1,2,2-PCA
	1,1,1,2-PCA
	1,1,2-TCA
	1,1,1-TCA
	1,2-DCA
	1,1-DCA
	CA
	CCl4
Chlorométhanes et intermédiaires métaboliques	CF
	DCM
	CM
<b>PARAMETRES GLOBAUX</b>	
Anions solubles	Chlorures
	Nitrates
	Sulfates
Autres	Fe II
	Alcalinité
	Méthane
<b>CARACTERISATION DES SOURCES DE CARBONE</b>	
COD-NPOC	COD-NPOC
COV (BTEX étendus+N)	1,2,3-Triméthylbenzène (Hémimellithène)
	1,2,4-Triméthylbenzène (pseudo-Cumène)
	Benzène
	Toluène
	Ethylbenzène
	m,p-Xylène
	o-Xylène
	Naphtalène
	1,3,5-Triméthylbenzène (Mésitylène)
	alpha-Méthylstyrène
	Styrène
	Cumène
n-Propylbenzène	

**Tableau 4 - Liste des paramètres analysés sur les eaux souterraines**

## 5 Investigations de terrain

### 5.1 Chronologie d'intervention

L'intervention de terrain d'août 2008 a été réalisée suivant le planning suivant :

- **8 août 2008**, prélèvement des eaux souterraines à partir de 5 piézomètres du site ;
- **du 4 au 12 août 2008**, réalisation des sondages carottés sous gaine au droit des trois zones impactées suspectées ;
- **les 5, 7 et 13 août 2008**, réalisation de prélèvements d'eaux interstitielles respectivement au droit des zones sources 2, 1 et 3.

Les sondages carottés et prélèvements d'eaux interstitielles ont été réalisés par la société AGROFORE, sous le contrôle d'un technicien de BURGEAP.

Les mesures PID et les échantillonnages de sols et d'eaux souterraines ont été réalisés par les équipes de BURGEAP.

### 5.2 PHASE I : Investigations réalisées sur la nappe

#### 5.2.1 Piézométrie

Trois formations aquifères sont rencontrées au droit du site SAFT à faible profondeur :

- les remblais qui renferment une nappe peu productive et temporaire. Ils reposent sur les argiles tourbeuses ;
- les alluvions récentes de la Garonne (argiles sableuses à passées tourbeuses) ;
- les alluvions sous-flandriennes sablo-graveleuses de la Garonne. Leur puissance est d'une dizaine de mètres et à leur base un horizon de galets, sables et graviers est rencontré.

Ces alluvions reposent sur les marnes de l'Oligocène inférieur, constituant le substratum et le mur de ces nappes peu profondes.

Le **tableau de l'annexe 6** présente les caractéristiques des piézomètres du site, ainsi que les relevés du niveau de la nappe effectués les 11, 12, 13 et 20 juillet 2007 (6 ouvrages)<sup>2</sup>, et le 06 Août 2008 (5 ouvrages). **Il est important de préciser à ce stade que, au regard de leurs coupes géologiques et techniques et de leur taux de renouvellement lors de purges à faible débit, ces piézomètres captent aussi bien la nappe contenue dans les argiles et tourbes que la partie supérieure de celle présente dans l'aquifère des alluvions sablo-graveleuses.**

Les cartes piézométriques tracées à partir de ces données sont présentées sur les figures I, J, K et L. Ces cartes appellent les commentaires suivants :

- hors influence du pompage industriel de la société SAFT, la nappe phréatique coule globalement du Sud-Est vers le Nord-Ouest, en direction du Lac ;
- le puits industriel, fonctionnant à un débit moyen de 30 m<sup>3</sup>/h et par intermittence, crée un cône de rabattement dont l'incidence s'étend jusqu'au puits P2, localisé en limite Nord-Ouest du site. Ce cône de rabattement pourrait concerner aussi bien les eaux souterraines contenues dans les argiles et tourbes que celles contenues dans les sables et graviers (ce point reste à préciser les piézomètres du site captant aussi bien les argiles et tourbes que les sables et graviers). Cette incidence montre l'existence de relations hydrauliques possibles entre ces deux aquifères aux caractéristiques hydrodynamiques très différentes ;
- un suivi quasi-continu de l'évolution des niveaux de nappe sur 1 semaine a montré que ceux-ci n'étaient pas influencés par le marnage de la Garonne localisée à 1,5 km au Sud-Est du site ;
- le gradient de la nappe en régime non influencé est compris entre 0,5 et 1 ‰.

<sup>2</sup> Ces analyses sont issues de la campagne menée par BURGEAP dans le cadre de la mission d'« étude de caractérisation de l'état de contamination des milieux par les COHV » - Cf. rapport BURGEAP Rbx534a de décembre 2007.

## 5.2.2 Caractérisation de la qualité des eaux souterraines à partir du réseau de piézomètres existants

*NB : ce chapitre fait l'objet d'un résumé spécifique que le lecteur trouvera en fin de l'exposé qui suit.*

La qualité des eaux souterraines au droit du site SAFT a été caractérisée, suivant le protocole MACAOH :

- en Juillet 2007. Cette campagne de prélèvements et analyses a été réalisée à partir de 6 piézomètres présents sur site (P1, P2, P3bis, P4, P5 et le puits industriel) ;
- en août 2008. Cette campagne de prélèvement et analyses a été réalisée à partir de 5 piézomètres (P1, P2, P3, P4 et le puits industriel).

Pour ces deux campagnes, les prélèvements d'eaux souterraines ont été effectués après une purge préalable de l'ouvrage d'au moins 4 fois le volume d'eau initialement contenu dans l'ouvrage et après stabilisation de la température et de la conductivité. Les fiches de prélèvements sont présentées en **annexe 7** et les bordereaux d'analyses en **annexe 8**.

Les tableaux de synthèse des résultats analytiques sont présentés en **annexe 9**. Les piézomètres du site captant globalement les horizons argilo-tourbeux et le toit des sables, les concentrations en composés organiques ou non présentées dans ce tableau caractérisent indistinctement ces deux horizons.

Il en ressort les éléments suivants.

- *En amont hydraulique du site (P5)*, aucune trace de composés organo-chlorés aliphatiques n'est mise en évidence. Du fait de la présence de tourbes dans les premiers mètres de sols, les conditions du milieu « eaux souterraines » apparaissent favorables à une dégradation anaérobie : les concentrations en COD et méthane sont relativement élevées ; quant aux teneurs en oxygène dissous elles sont faibles ;
- *Sur le site*, les eaux souterraines sont impactées par des concentrations en COHV probablement liées à la présence de zones sources à proximité de trois piézomètres : P1, P2 et P3 ; étant donnée la répartition géographique de ces piézomètres, ces impacts seraient imputables à au moins trois zones sources de pollutions par les COHV :
  - les eaux souterraines au droit de P2 et P3bis sont impactées par des zones sources dont les produits primaires seraient du PCE ou un mélange TCE/PCE. Un troisième composé est probablement présent dans les zones sources, bien qu'en moindre concentration que le TCE/PCE : il s'agirait du 1,1,1-TCA ou du 1,1,2-TCA, ainsi qu'en témoigne la détection de DCA en P2 et P3. La présence prédominante en nappe de produits de dégradation et la détection des produits finaux de la chaîne de déchloration (i.e. Ethane, Ethène, chlorures) témoignent de l'efficacité « naturelle » des phénomènes de biodégradation des COHV ;
  - les eaux souterraines au droit de P1 sont impactées par la présence prédominante de cis-1,2-DCE, de trans-1,2-DCE et de CV. Cet éventail de composés ne nous permet pas d'identifier le produit « primaire » présent de manière prépondérante au droit de la zone source responsable de ces concentrations en nappe. Si l'on considère une zone source impactée par la présence de TCE et/ou PCE, alors le piézomètre P1 serait localisé dans le panache des composés dissous en nappe ;
- *En aval hydraulique*,
  - au droit de P4, captant principalement les horizons superficiels argilo-tourbeux et probablement le toit des sables, seul le chlorure de vinyle est détecté à des concentrations supérieures aux valeurs réglementaires eau potable (la somme des concentrations en TCE et PCE demeurant inférieures à 5 µg/l). La présence prédominante de produits issus de la déchloration du TCE et du PCE et la détection des produits finaux de la chaîne de déchloration (éthane, éthène, méthane), montrent que les phénomènes de dégradation anaérobie prennent place également au sein du panache de composés dissous, dans les horizons de surface ;
  - le puits industriel capte, via des drains rayonnants, la nappe des sables et graviers. Les teneurs en méthane, environ dix fois plus faibles que celles mesurées sur les autres piézomètres qui captent essentiellement des argiles plus ou moins tourbeuses et les concentrations en oxygène dissous attestent d'une forte dilution entre un horizon argileux riche en matière organique et constituant un milieu anaérobie favorable à la déchloration réductrice des COHV et un horizon

sableux connaissant un bon renouvellement et une bonne oxygénation des ses eaux souterraines. Vis-à-vis de P4, les ratios composés primaires/métabolites intermédiaires/produits finaux indiquent une accumulation relative des métabolites intermédiaires (en particulier le CV) qui pourraient ensuite migrer en aval hydraulique du site via l'horizon sableux à la faveur d'arrêts du forage industriel (les concentrations en chlorure de vinyle mesurées restent cependant relativement faibles par rapport aux impacts mis en évidence sur site par ailleurs : de l'ordre de 15 µg/l en Pz4 et de 55 à 70 µg/l dans le puits industriel).

Entre les deux campagnes de prélèvements et analyses des eaux souterraines (celles-ci ayant été réalisées toutes deux en période estivale et en régime de basses eaux de la nappe phréatique), les seules évolutions significatives des concentrations en nappe ont été mises en évidence au droit de P2 et P3, où :

- en P2, les concentrations en produits intermédiaires (DCE et CV) mesurées en 2008 sont supérieures à celles mesurées en 2007. A contrario, les teneurs en produits primaires (PCE/TCE) sont moindres ;
- en P3, tant les concentrations en produits primaires que celles en produits intermédiaires mesurées en 2008 sont inférieures à celles mesurées en 2007.

Aussi bien en P2 qu'en P3, les taux de déchloration calculés ont augmenté entre 2007 et 2008, semblant ainsi montrer l'efficacité des phénomènes naturels de déchloration à entraîner un abattement des concentrations en produits primaires. Cette évolution serait toutefois à suivre sur plusieurs campagnes et plusieurs années pour être définitivement confirmée et validée.

**En résumé, les piézomètres existants sur le site (P1 à P5 ainsi que le puits industriel) bien que captant généralement indistinctement la nappe des remblais et celle sous-jacente des sables et graviers, révèlent :**

- l'existence de 3 zones sources potentielles au droit de P1, P2, et P3 ; sources de produits primaires (TCE) ou de mélanges (TCE / PCE) sur P2 et P3 et de composés de dégradation (P1) ;
- dans une moindre mesure, la présence de métabolites de dégradation identifiée sur les autres ouvrages notamment sur le puits industriel (présence de CV – concentration de 55 à 70µg/l) et sur P4 (concentration en CV de 15 µg/l), localisé en limite aval du site. Ainsi, une accumulation relative des métabolites intermédiaires (en particulier le CV) prendrait place au sein des panaches de composés dissous ;
- des phénomènes naturels de déchloration visibles à l'analyse des concentrations observées entre les campagnes de 2007 et 2008.

## 5.3 PHASES II et III : Investigations réalisées sur les sols et les eaux interstitielles

### 5.3.1 Caractéristiques des ouvrages réalisés

Les 21 sondages carottés ont été réalisés sur le site selon l'implantation présentée en **figures F, G et H** hors texte.

Les campagnes de prélèvements et d'analyses des eaux souterraines ont permis d'identifier la présence, a minima, de trois zones sources sur ou à proximité du site SAFT :

- la zone ou les zones sources localisées en aval hydraulique de P1, sont associées à la Zone 1 ;
- la zone ou les zones sources localisées en aval hydraulique de P2, sont associées à la Zone 2 ;
- la zone ou les zones sources localisées en aval hydraulique de P3, sont associées à la Zone 3.

La profondeur des sondages carottés varie entre 5 et 17 m environ, avec un linéaire total de 187 ml.

Les rendus des **sondages carottés (analyses de sols) associés aux mesures PID** se trouvent en **Annexes 10, 11 et 12 et en figures M et N**. Ils présentent plusieurs types d'informations :

- la coupe géologique des sondages relevée sur le terrain (et le niveau présumé de la nappe lorsqu'il a pu être identifié lors de la foration),
- la diagraphie des mesures PID (en ppmV d'équivalent isobutylène, gaz de calibration du PID de terrain, sachant qu'une réponse de 1 000 ppmV en isobutylène correspond à 540 ppmV en TCE) effectuées de façon semi-continue, tous les 20 à 40 cm, sur toute la longueur du sondage, sachant que la réponse du PID de terrain sature au-delà de 15 000 ppmV,
- les profondeurs auxquelles des prélèvements de sol ont été réalisés (sol brut et sol immergé dans le méthanol),
- la diagraphie (bordereaux d'analyses et figures) des analyses au laboratoire des principaux COHV (en mg/kg de MS) rencontrés sur le site (PCE, TCE, 1,1-DCE, Cis-DCE, CV et localement, au droit de la zone II, 1,1,-DCA). Les concentrations en COHV représentées sont les concentrations analysées par le laboratoire et corrigées par le rendement du SIE (Standard Interne d'Extraction, cf. **annexe 4**).

Bien que le nombre total d'analyses en laboratoire soit conséquent, les diagraphies de concentrations dans les sols ne renseignent pas de façon continue de l'état de pollution des sondages. Pour cela, il est donc nécessaire d'intégrer l'information semi-continue donnée par les mesures PID de terrain.

### 5.3.2 Géologie des terrains

La séquence lithologique issue des sondages est la suivante, de haut en bas :

- remblais sur une épaisseur comprise entre 0,4 et 1,9 m,
- argiles et lentilles d'argiles plus ou moins tourbeuses jusqu'à 5 à 7 m de profondeur par rapport au sol du site (épaisseur comprise entre 4 et 6m),
- sables et graviers d'une puissance de l'ordre d'une dizaine de mètres. A la base de ces sables, est présent un horizon de sables, graviers et galets,
- marne (substratum) à une profondeur de l'ordre de 17m (profondeur rencontrée au droit du puits industriel utilisé actuellement).

Les coupes des sondages sont présentées en **annexe 10**.

### 5.3.3 Résultats obtenus au droit de la zone 1

NB : ce chapitre fait l'objet d'un résumé spécifique que le lecteur trouvera en fin de l'exposé qui suit.

#### 5.3.3.1 Résultats des mesures in-situ réalisées à l'aide du PID

Les diagraphies des réponses du PID mesurées, in-situ, pour chaque sondage carotté sont présentées en **annexe 11-1**.

La réponse maximale du PID est mesurée au droit du sondage I4, au toit des argiles, où elle atteint, au maximum, 120 ppmV. Au droit des sondages I1, I2 et I5, la réponse maximale du PID est inférieure ou égale à 3 ppmV.

#### 5.3.3.2 Analyses des sols au laboratoire

Les analyses de concentrations en COHV dans les sols ont été réalisées par le laboratoire AGROLAB. Pour la zone 1, 3 échantillons de sols, prélevés au droit du sondage I4, ont été analysés suivant le protocole MACAOH (cf. **annexe 4**).

Les bordereaux d'analyses du laboratoire et un tableau de synthèse des analyses sont fournis en **Annexe 12**.

L'examen de ces bordereaux montre que **seul du 1,1,2,2,-TCA** est mis en évidence à une concentration de 15 mg/kg MS à 1 m de profondeur, au droit du sondage I4.

#### 5.3.3.3 Analyses des eaux souterraines interstitielles

Les prélèvements d'eaux souterraines interstitielles ont été réalisés à l'aplomb du sondage I4, où les réponses du PID ont été maximales.

Les analyses de concentrations en COHV dans les eaux interstitielles ont été confiées au laboratoire AGROLAB.

Les bordereaux d'analyses du laboratoire sont fournis en **Annexe 13** et les résultats, reportés dans un tableau en annexe 14, sont illustrés par le graphique suivant.

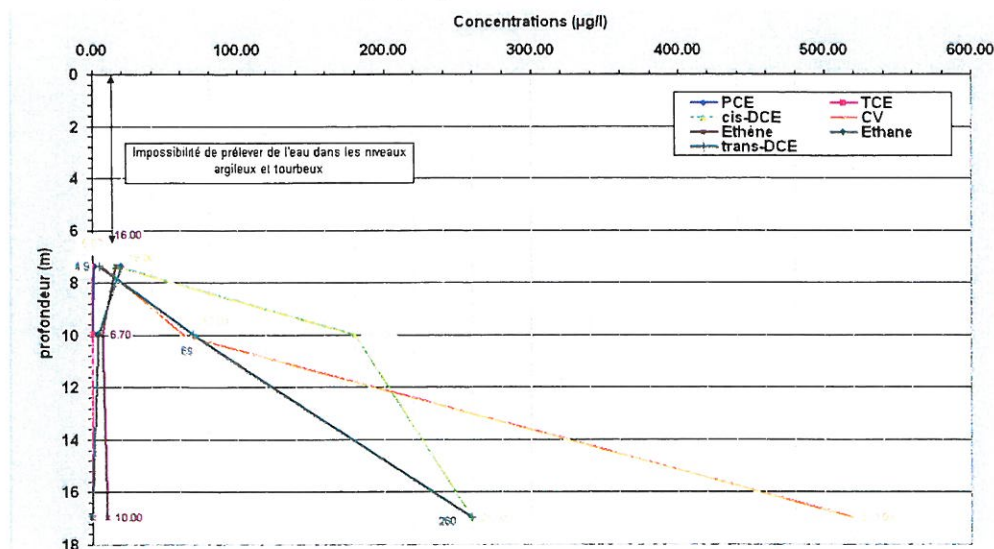


Figure 1 - Diagraphie des concentrations en COHV dans les eaux souterraines au droit du sondage I4

Ce graphique montre une augmentation des concentrations en nappe en profondeur, à la base des sables et graviers. Les composés détectés sont essentiellement des produits intermédiaires de la chaîne de déchloration du PCE et du TCE, à savoir du trans-DCE, du cis-DCE et du chlorure de vinyle. Cet éventail de COHV détectés

et présents de manière prédominante est cohérent avec les résultats des analyses réalisées sur les eaux souterraines prélevées au droit de P1 : les impacts mis en évidence au droit du sondage carotté I4 et au droit du piézomètre P1 seraient donc liés à une même source de pollution, localisée probablement en amont hydraulique de la zone investiguée.

En résumé, les indices de pollution détectés dans les sables et graviers sous les argiles tourbeuses, au droit de la zone 1, révéleraient :

- soit la présence d'une zone source sous forme de phase, qui serait située au toit des marnes, en amont de la zone investiguée, au droit ou à proximité du site SAFT. Soulignons ici que la recherche de cette zone source nécessiterait un maillage serré de sondages, ce qui est peu compatible avec l'activité du site ;
- soit la présence d'une contamination diffuse de la ressource des sables et graviers et les teneurs mesurées reflèteraient un état résiduel de la contamination.

La seconde hypothèse pourrait être la plus probable considérant que les produits présents sont principalement des intermédiaires de la dégradation et que le PCE et le TCE sont en concentrations très faibles (moins de 1 µg/l).

Par ailleurs, la présence d'une zone source dans les argiles et tourbes, même si elle est possible, n'est pas avérée.

### 5.3.4 Résultats obtenus au droit de la zone 2

#### 5.3.4.1 Résultats des mesures in-situ réalisées à l'aide du PID

Les diagraphies des réponses du PID mesurées, in-situ, pour chaque sondage carotté sont présentées en **annexe 11-2**.

Les réponses maximales du PID (>1000 ppmV) sont mesurées au droit des sondages II5 (PID<sub>max</sub>=1400 ppmV), II4 (PID<sub>max</sub>=10 000 ppmV) et II7 (PID<sub>max</sub>=14 000 ppmV). Elles sont systématiquement détectées au niveau des premiers horizons tourbeux situés à moins de 5 m de profondeur. Ces réponses apparaissent cohérentes puisque les COHV ont des Koc<sup>3</sup> relativement élevés et sont ainsi « piégés » par la matière organique ou les complexes argilo-humiques abondants dans les horizons tourbeux.

A l'aplomb du sondage II4 prolongé jusqu'à une profondeur de 17m, les réponses du PID, au droit des alluvions sablo-graveleuses, ne dépassent pas 50 ppmV.

#### 5.3.4.2 Analyses des sols au laboratoire

Les analyses de COHV dans les sols ont été réalisées par le laboratoire AGROLAB. Pour la zone 2, 15 échantillons de sols ont été analysés suivant le protocole MACAOH (cf. **annexe 4**).

Les bordereaux d'analyses du laboratoire et un tableau de synthèse des résultats sont fournis en **Annexe 12**. **Les résultats sont illustrés par la figure M, hors texte.**

L'examen de ces bordereaux montre que :

- **le tétrachloroéthylène est le principal composé identifié au droit des sondages II3, II5 et II7.** Pour ces trois sondages, de manière cohérente avec les mesures PID, les concentrations maximales en COHV sont mesurées au sein des horizons tourbeux, où le tétrachloroéthylène représente entre 70 et 85 % des COHV mesurés. Dans les sols plus sableux

<sup>3</sup> Koc : coefficient de partage carbone organique/sols

ou plus argileux localisés au-dessus ou au-dessous de ces niveaux tourbeux, le tétrachloroéthylène ne représente plus que 20% au maximum des COHV détectés et le composé prépondérant est alors le dichloroéthylène ;

- **le DCE et le CV sont les principaux composés identifiés au droit des sondages II2, II4 et II6.** Il s'agit des composés intermédiaires de la chaîne de déchloration du PCE et du TCE. La concentration maximale en COHV est mesurée au droit du sondage II4 et est de l'ordre de 1000 mg/kg MS. Localement, au droit du sondage II2, réalisé en dehors des limites du site, une concentration en 1,1-DCA de 73 mg/kg MS est mesurée.

### 5.3.4.3 Analyses des eaux souterraines interstitielles

Les prélèvements d'eaux souterraines interstitielles ont été réalisés à l'aplomb du sondage II4.

Les analyses de concentrations en COHV dans les eaux interstitielles ont été confiées au laboratoire AGROLAB.

Les bordereaux d'analyses du laboratoire sont fournis en **Annexe 13** et les résultats, présentés dans un tableau de synthèse en **annexe 14**, sont illustrés par le graphique suivant.

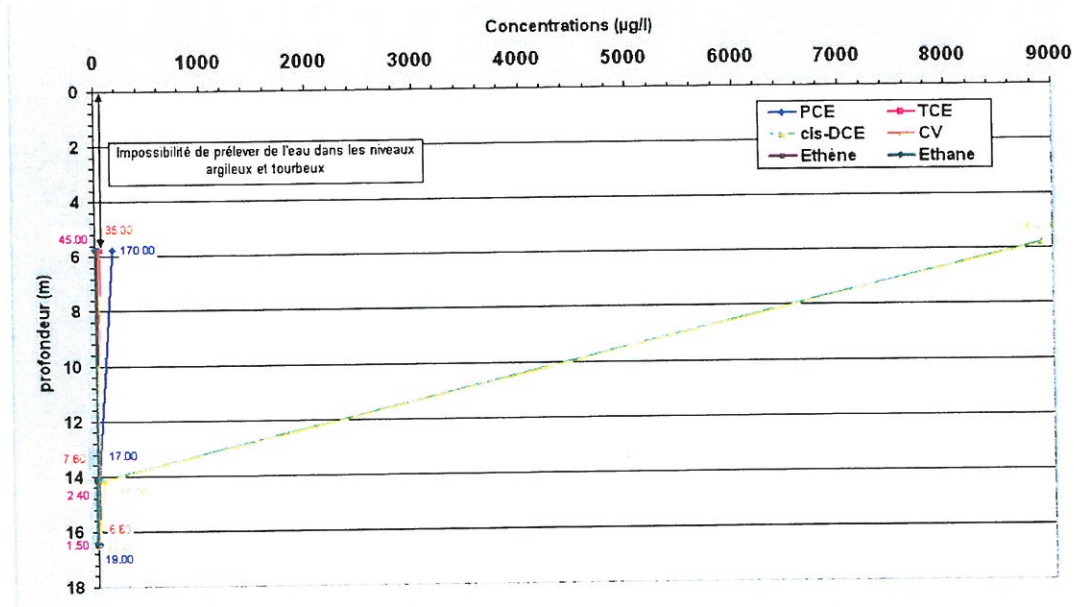


Figure 2 - Diagraphie des concentrations en COHV dans les eaux souterraines au droit du sondage II4

Ce graphique montre, qu'au droit du sondage II4, les concentrations en COHV en nappe diminuent avec la profondeur et sont minimales à la base des alluvions sablo-graveleuses. Au droit du sondage II4, il est probable, que les COHV aient été piégés dans les argiles et tourbes.

En résumé, la source (ou les sources) de pollution localisée au droit de la zone 2 serait caractérisée par un piégeage des composés organo-halogénés principalement dans les niveaux d'argiles et tourbes (alluvions récentes). Les sondages les plus impactés sont II7, II4, II5 et II3 avec des concentrations totales en COHV supérieures à 300mg/kg MS. Le seul sondage réalisé en profondeur (sans toutefois atteindre le substratum marneux) ne met pas en évidence la présence de phase organique au toit des marnes.

### 5.3.5 Résultats obtenus au droit de la zone 3

NB : ce chapitre fait l'objet d'un résumé spécifique que le lecteur trouvera en fin de l'exposé qui suit.

#### 5.3.5.1 Résultats des mesures in-situ réalisées à l'aide du PID

Les profils verticaux des réponses du PID mesurées, in-situ, pour chaque sondage carotté sont présentés en annexe 11-3.

Les réponses maximales du PID ( $>1000$  ppmV) sont mesurées au droit des sondages III1 ( $PID_{max} > 1500$  ppmV), III7 ( $PID_{max} > 15\ 000$  ppmV) et III3 ( $PID_{max} = 5\ 600$  ppmV). Elles sont détectées dans les argiles plus ou moins tourbeuses et pas systématiquement au niveau des lentilles d'argiles tourbeuses.

A l'aplomb du sondage III1 prolongé jusqu'à une profondeur de 17m, les réponses du PID au droit des alluvions sablo-graveleuses ne dépassent pas 100 ppmV.

A l'aplomb du sondage III7, les réponses du PID atteignent plus de 500 ppmV au toit et à la base des alluvions sablo-graveleuses.

#### 5.3.5.2 Analyses des sols au laboratoire

Les analyses de COHV dans les sols ont été réalisées par le laboratoire AGROLAB. Pour la zone 3, 23 échantillons de sols ont été analysés suivant le protocole MACAOH (cf. annexe 4).

Les bordereaux d'analyses du laboratoire et un tableau de synthèse sont fournis en **Annexe 12. Les résultats sont illustrés par la figure N, hors texte.**

L'examen de ces bordereaux montre que :

##### - Concernant le PCE, le TCE et leurs produits de dégradation :



- **le tétrachloroéthylène est le principal composé identifié au droit des sondages III1 et III7.** Les concentrations maximales en PCE mesurées au droit de ces deux sondages sont de l'ordre de 15 000 mg/kg MS. Au droit de III7, entre 1,5 et 7m de profondeur, le tétrachloroéthylène représente entre 70 et 93 % des COHV mesurés. Au droit de III1, le tétrachloroéthylène représente au maximum 80% des COHV mesurés;
- **au droit du sondage III3, le tétrachloroéthylène est présent majoritairement à 2,3 m de profondeur, alors qu'à 3,3 m le DCE est prépondérant et détecté à une concentration de 3100 mg/kg MS ;**
- **le DCE et le CV sont les principaux composés identifiés au droit des sondages III2, III4, III5, III6, III14, III15 et III16.** Il s'agit des composés intermédiaires de la chaîne de déchloration du PCE et du TCE. La concentration maximale en COHV est mesurée au droit du sondage III2 et est de l'ordre de 3000 mg/kg MS. Au droit des autres sondages pré-cités, la somme des concentrations en COHV est inférieure à 100 mg/kg MS

##### - Concernant les chloroéthanés :

- **au droit des sondages III1, III2, III5, III7, III15 et III16, du 1,1-dichloroéthane est mis en évidence à des teneurs comprises entre 0,15 et 36 mg/kg MS.** Les teneurs maximales sont mesurées au droit des sondages III1 (36 mg/kg MS à 2,8 m de profondeur) et III16 (33 mg/kg MS à 2,5m). Contrairement aux analyses réalisées sur d'autres sondages, au droit de III16, du 1,1,1-TCA et du 1,1,2-TCA sont également détectés ;
- **au droit du sondage III2, du chloroéthane est détecté à une concentration de 78 mg/kg MS à 3,5 m de profondeur.**

### 5.3.5.3 Analyses des eaux souterraines interstitielles

Les prélèvements d'eaux souterraines interstitielles ont été réalisés à l'aplomb du sondage III7.

Les analyses de concentrations en COHV dans les eaux interstitielles ont été confiées au laboratoire AGROLAB.

Les bordereaux d'analyses du laboratoire sont fournis en **Annexe 13** et les résultats sont illustrés par le graphique suivant.

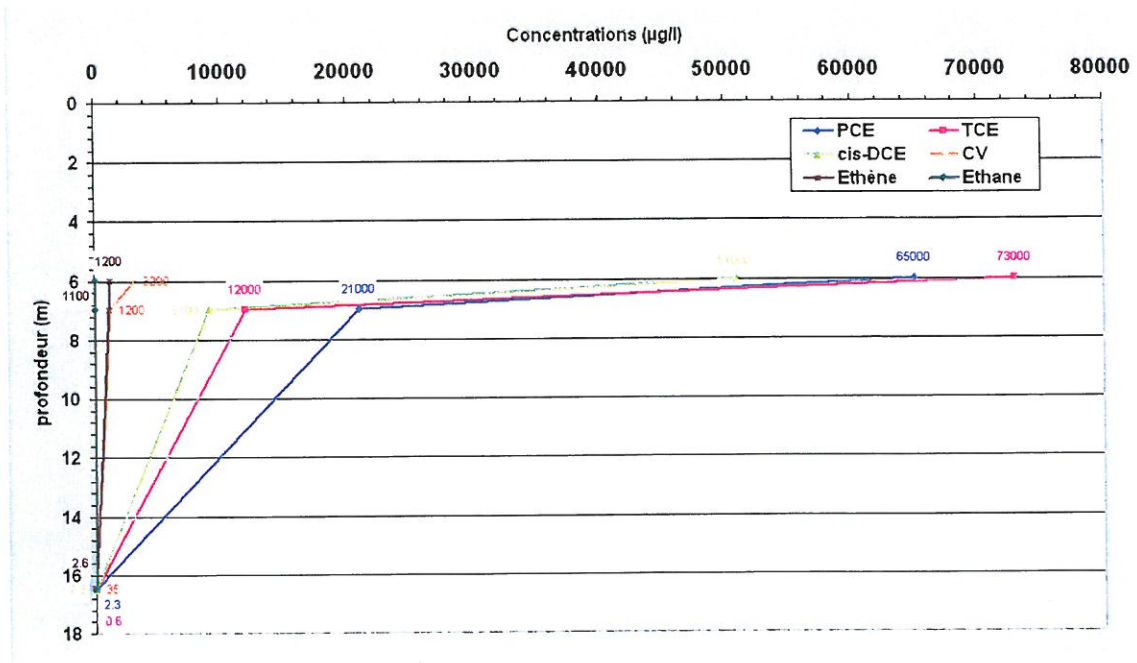


Figure 3 - Diagraphie des concentrations en COHV dans les eaux souterraines au droit du sondage III7

Ce graphique montre qu'au droit du sondage III7, les concentrations en COHV en nappe diminuent avec la profondeur et sont minimales à 16 m de profondeur, dans les alluvions sablo-graveleuses.

En résumé, comme pour la zone 2, la source (ou les sources) de pollution localisée au droit de la zone 3 serait caractérisée par un piégeage des composés organo-halogénés principalement dans les niveaux d'argiles et tourbes (alluvions récentes). Les sondages les plus impactés sont III7, III3, III1 et III2 avec des concentrations totales en COHV supérieures à 300mg/kg MS. Ici aussi, les sondages réalisés en profondeur (sans toutefois atteindre le substratum marneux) ne mettent pas en évidence la présence de phase organique au toit des marnes.

## 6 Résultats de la caractérisation des zones sources

*NB : La géométrie et la nature des sources de pollution est résumé dans un chapitre spécifique (cf. chapitre 6.4).*

### 6.1 Méthodologie d'interprétation

- Rappelons que, par « zone source », on entend un milieu poreux contenant des COHV sous forme de phase organique.
- Tant que la « zone source » n'est pas entièrement épurée de son stock de COHV sous forme de phase organique, la concentration en COHV dans les autres milieux (eau, air du sol) ne peut pas baisser significativement. Une fois ce « stock » entièrement épuré, les concentrations dans les eaux et l'air du sol commencent à baisser, le rythme de cette baisse pouvant être d'autant plus rapide ou lent que les terrains sont fortement ou peu perméables et que les milieux eau et air s'y renouvellent rapidement ou très lentement.

L'objectif recherché est, pour aborder un premier dimensionnement des opérations de dépollution, de connaître :

- la localisation et la géométrie des « zones sources »,
- la quantité du stock de solvants chlorés que ces zones sources contiennent,
- les flux massiques en solvants chlorés dissous émis par les zones sources et transportés par la nappe,
- la durée minimale d'épuisement estimée du stock contenu dans les zones sources,
- et l'impact dans le temps de l'enlèvement des zones sources sur la qualité de l'eau de nappe.

Il s'agit donc tout d'abord, sur la base de la connaissance des composés présents et des propriétés pétrophysiques des terrains (porosité, teneur en eau et en carbone organique), de déterminer à partir de quelle concentration en composés chlorés dans les sols, on est en présence d'une « zone source ».

Ces « seuils » de concentrations seront utilisés pour identifier les sondages au droit desquels de la phase organique est susceptible d'être présente. En l'état actuel des connaissances et étant donné les contraintes de terrain empêchant l'accès aux ateliers et bureaux par la machine de sondage, nous ne sommes pas en mesure de délimiter avec précision des zones impactées. Ce point sera précisé dans les paragraphes suivants.

Par ailleurs, des calculs ont été menés pour évaluer les débits de nappe et les flux massiques en polluants transportés par la nappe.

### 6.2 Définition des seuils de concentration en COHV correspondant aux zones source

#### 6.2.1 Approche « équilibre local » et « non équilibre local »

La définition des concentrations dans les sols à partir desquelles on se situe dans une zone source (présence de phase organique) est délicate.

Une approche de type « équilibre local » basée sur les lois de l'équilibre thermodynamique consiste à considérer que s'il existe une phase organique dans un sol, alors la concentration dans l'eau qui baigne ce sol

sur n'importe  
 pas dans  
 dans  
 11/7

correspond à la solubilité du composé (150 mg/l pour le PCE), et la concentration dans l'air qui occupe la porosité de ce sol correspondant à la pression de vapeur saturante (à 20°C, 130 000 mg/m<sup>3</sup> pour le PCE soit 19 000 ppmv).

Ces quantités de composés dans l'eau du sol et dans l'air du sol sont évidemment également mesurées par l'analyse du sol. En fonction des valeurs de porosité, de teneur en eau et de plusieurs autres paramètres, il est possible, par raisonnement et calcul inverse, de définir la « concentration seuil » dans les sols à partir de laquelle on peut estimer de façon certaine qu'il y a présence de phase organique.

Cependant, à cause des hétérogénéités à différentes échelles des propriétés du milieu et du polluant vis-à-vis des techniques de mesure, il peut y avoir présence de phase organique pour des concentrations réellement mesurées sensiblement inférieures à cette concentration seuil calculée à partir de l'approche de type « équilibre local ».

En effet, si à petite échelle (l'échelle microscopique d'un pore) on peut considérer que les mécanismes de dissolution ou de volatilisation peuvent être décrits par un modèle du type « équilibre local », il n'en est pas nécessairement de même à plus grande échelle (échelle macroscopique d'un échantillon de sol, du sondage et de la zone source).

A grande échelle, à cause des hétérogénéités entre plusieurs pores voisins (hétérogénéité du sol ou de la répartition de la phase organique), du TCE dissous ou des vapeurs de TCE à l'équilibre se mélangent à de l'eau ou des gaz non pollués, et le résultat donne alors une concentration plus faible que la concentration d'équilibre théorique. Ces effets conduisent à une situation « non équilibre-local » typiques de situations de sites réels, ils sont difficilement quantifiables et conduisent à une incertitude sur les limites de la zone source.

En pratique, le seuil théorique basé sur une approche « équilibre local » a été estimé dans un premier temps, puis, s'agissant d'une concentration où l'on est « certain » d'être en présence de phase organique, le seuil retenu in fine a été estimé avec une approche de type « non équilibre local » en intégrant d'autres informations que les seules concentrations dans les sols.

## 6.2.2 Calcul des seuils théoriques

L'analyse en laboratoire d'un échantillon de sol permet de déterminer la concentration totale du(des) composé(s) présent(s) sous ses différentes formes physiques potentielles : phase organique, phase eau, phase gaz, phase adsorbée. Le résultat analytique fourni par le laboratoire ne correspond donc pas uniquement à la concentration en polluant sous forme de phase organique.

La conversion des concentrations dans les sols en saturations en phase organique peut se faire en calculant la répartition du polluant dans les différentes phases du milieu poreux à l'aide de relations établies pour une situation à l'équilibre local (équilibre thermodynamique).

Le logiciel **NAPLANAL**<sup>4</sup> permet de résoudre ce système d'équation de partage du polluant entre les 4 phases potentiellement présentes, les données d'entrée étant les suivantes :

- le nombre de composés identifiés dans les sols et leur concentration totale mesurée dans l'échantillon,
- les caractéristiques du milieu poreux : porosité, fraction d'eau (pour un échantillon dans la zone non saturée) et fraction de carbone organique,
- les propriétés physico-chimiques des composés identifiés dans les sols (solubilité, constante de Henry, coefficient de partage eau/carbone organique).

Les résultats fournis par le logiciel sont la saturation et la composition de la phase organique ainsi que les concentrations à l'équilibre présentes dans les phases dissoutes, adsorbées et gazeuses. Par tâtonnements

<sup>4</sup> **Mariner P.E., Jin M., Jackson R.E., 1997.** An algorithm for the Estimation of NAPL Saturation and Composition from Typical Soil Chemical Analyses. *Ground Water Monitoring and Remediation*, 3:122-129. Logiciel disponible gratuitement sur le site [http://www.intera.com/technology\\_naplanal.php](http://www.intera.com/technology_naplanal.php).

successifs, il est possible de calculer le seuil de concentration dans les sols correspondant à une saturation nulle en phase organique.

Le **Tableau 5** présente les résultats de l'application de NAPLANAL pour le site de SAFT, en distinguant la source 2 et la source 3 ainsi que la zone non saturée et la zone saturée, et 3 lithologies différentes pour la zone saturée. Une étude de sensibilité sur les paramètres du modèle est également prise en compte. La gamme de valeurs attestant de la présence d'une phase organique est la suivante :

- de **500 à 1500 mg/kg MS** pour la concentration totale en COHV dans les **argiles** en zone non saturée comme en zone saturée,
- de **4000 à 70 000 mg/kg MS** pour la concentration totale en COHV dans les **tourbes** (présentes en zone saturée uniquement) ;
- de **80 à 300 mg/kg MS** pour la concentration totale en COHV dans les **remblais sablo-graveleux et dans les sables** (présents respectivement en zone non saturée et en zone saturée).

Mentionnons que le paramètre principal influençant la concentration seuil est la teneur en carbone organique. Pour les tourbes et argiles tourbeuses observées sur le terrain, une forte incertitude existe sur ce paramètre, la bibliographie reportant des teneurs très variables.

		Matières sèches (moyenne)	Porosité totale	Saturation en eau	Teneur en carbone organique	Intervalle des concentrations seuils théoriques calculées pour la zone 2 et la zone 3
		%	%	%	%	mg/kg MS
Zone Non Saturée (ZNS)	Argiles	Entre 63 et 72%	40	10	1	600 -750
			60	10	1	650 - 850
			40	10	2	1100 - 1450
			60	10	2	1100 - 1500
			40	80	1	500 - 650
			60	80	1	450-600
			40	80	2	950-1250
			60	80	2	850-1100
	Remblais sablo-graveleux	90%	30	10	0.1	80-90
			50	10	0.1	140
			30	10	0.5	250-300
			50	10	0.5	300-350
			30	80	0.1	80-90
			50	80	0.1	110-120
Zone Saturée (ZS)	Argiles	Entre 56 et 63	40	100	1	600-750
			60	100	1	550-650
			40	100	2	1100-1300
			60	100	2	1000-1100
	Tourbes	Entre 30 et 38%	50	100	75	61000 - 73000
			90	100	75	19000-23000
			50	100	15	12000-15000
			90	100	15	4400-5000
	Sables	Entre 78 et 84 %	30	100	0.1	80-100
			40	100	0.1	80-100
			30	100	0.5	200-300
			40	100	0.5	200-300

**Tableau 5 – Seuils théoriques de concentrations en COHV représentatifs de la présence de phase organique pour les sources 2 et 3– calculs et étude de sensibilité**

### 6.2.3 Seuils retenus pour la gestion du site

La littérature et notre propre retour d'expérience (travaux R&D et études commerciales) nous indiquent comment les hétérogénéités du milieu ou du polluant modifient les effets de l'équilibre local.

Dans le cas du site de SAFT, les informations suivantes sont prises en compte pour estimer le seuil retenu in fine, en complément des calculs réalisés avec NAPLANAL.

- les concentrations maximales en PCE (polluant majoritaire) dans l'eau de nappe au droit des zones sources : la concentration maximale observée est élevée, 65 mg/L (au droit du sondage III7, à 6 m de profondeur), correspondant à 43% de la concentration d'équilibre (solubilité du PCE 150 mg/L) ;
- le degré d'hétérogénéités verticales des concentrations dans les sols dans les zones sources : conceptuellement, plus l'occurrence de concentrations au-delà des seuils théoriques est forte, plus on se rapproche d'une situation d'équilibre local. Ce n'est pas le cas, par exemple au droit de la zone 2, où de forts gradients de concentrations sont observés entre des niveaux argileux et des horizons plus tourbeux ;
- l'important degré d'hétérogénéités verticales et horizontales des alluvions argilo-tourbeuses. En effet, les horizons tourbeux ou argilo-tourbeux ont une épaisseur de l'ordre de quelques décimètres et la limite observée sur le terrain entre les argiles et des niveaux plus tourbeux, n'était pas franche. Par ailleurs, ces niveaux plus tourbeux ne seraient pas continus et seraient présents davantage sous forme de lentilles pluri métriques (l'extension horizontale devant atteindre une à plusieurs dizaines de mètres). Lors d'opération de dépollution sur site ou in-situ, nous ne serons pas en mesure de considérer cette hétérogénéité décimétrique. Nous retiendrons donc un unique seuil théorique pour ces alluvions argilo-tourbeuses.

Au vu des interprétations complémentaires sur ces données, les seuils retenus pour la gestion du site sont les suivants :

- de **300 mg/kg MS** pour la concentration totale en COHV dans les **argiles, argiles tourbeuses et tourbes** en zone non saturée comme en zone saturée,
- de **50 mg/kg MS** pour la concentration totale en COHV dans les **remblais sablo-graveleux et dans les sables** (présents respectivement en zone non saturée et en zone saturée).

### 6.3 Composition de la phase organique

La composition de la phase organique est estimée à partir des concentrations dans les sols, en considérant uniquement les composés mères et pas les métabolites (qui sont formellement présents uniquement dans l'eau, le gaz ou adsorbée sur la matrice solide). On observe une variabilité relativement faible de la composition selon les échantillons de sols. La composition moyenne retenue est la suivante :

- PCE : 90 à 95 %,
- TCE : 5 à 10%.

## 6.4 Estimation des surfaces et volumes des zones sources – interprétation des PID et analyses de sols

### 6.4.1 Interprétation des mesures PID et des analyses de sols

A la lecture des différentes fiches synthétiques présentées en **Annexe 11**, les diagraphies PID de terrain confirment leur intérêt pour compléter les analyses des COHV dans les sols, en donnant une information semi-quantitative très dense (pas de mesure 20 à 40 cm).

Ponctuellement, aux profondeurs où une analyse en COHV dans les sols complète la mesure PID, la correspondance Csol / PID peut servir de « calage » de la réponse PID pour extrapoler, pour une lithologie similaire, la concentration attendue en COHV dans les couches où l'analyse des sols n'a pas été effectuée.

Cette extrapolation guide l'interprétation et aide notamment à fixer les cotes hautes et basses des zones considérées comme faisant partie des zones sources, ce qui permet de déterminer sur chaque sondage et pour chaque lithologie l'épaisseur de terrains considérés comme appartenant à la zone source.

Le protocole d'échantillonnage de sols mis en œuvre limite les biais liés à l'échantillonnage (perte par volatilisation lors de la foration et du prélèvement) et à l'analyse (rendement d'extraction), ce qui garantit la fourniture d'une information fiable mais locale (20 g prélevés sur 5 cm environ).

Cette méthode de prélèvement, guidée par les mesures PID, permet de mettre en évidence des hétérogénéités de répartition verticale des COHV au **sein des horizons argileux et tourbeux** comme l'illustre par exemple la fiche du sondage III7 (cf. **Annexes 10 et 11**) :

- des concentrations ponctuellement élevées, ici de l'ordre de 12000 et 16000 mg/kg MS respectivement à 3,5 (au niveau d'un horizon tourbeux) et 5,90 m de profondeur,
- de forts gradients de concentrations entre 2 prélèvements distants de quelques décimètres en z, avec un facteur 500 entre les prélèvements à 5,9 et 7 m de profondeur à l'interface argiles et argiles tourbeuses / alluvions sablo-graveleuses.

Concernant **les alluvions sablo-graveleuses**, les concentrations en COHV mesurées entre 16 et 17 m de profondeur dans ces terrains, au droit des sondages II4 et III7 sont inférieures à 2 mg/kg MS et ne relèvent donc pas de la présence de phase organique à cette profondeur. Toutefois, les outils de sondage n'ont pas pu traverser l'horizon de graviers et galets surmontant le substratum marneux.

Ainsi, les faibles concentrations mesurées dans les alluvions sablo-graveleuses à moins de 17 m de profondeur peuvent être expliquées par deux hypothèses :

- Hypothèse 1 : le stock de phase organique s'étant infiltré localement dans les sols était insuffisant pour saturer les argiles et tourbes et s'est donc trouvé totalement piégé par ces terrains ;
- Hypothèse 2 : le stock de phase organique s'étant infiltré localement dans les sols était suffisant pour saturer les argiles et tourbes et a donc pu atteindre les alluvions sablo-graveleuses puis le toit des marnes constituant le substratum des aquifères et limitant la migration verticale de la phase organique. Or la phase organique n'a été que peu piégée par les sables et graviers présentant une faible teneur en matière organique. Par ailleurs, les flux de dissolution (liés à la vitesse d'écoulement des eaux souterraines) au sein de l'aquifère des alluvions sablo-graveleuses sont beaucoup plus importants que ceux prenant place dans les terrains argilo-tourbeux. Ces phénomènes auraient contribué à l'atténuation d'une éventuelle zone source au sein des sables et graviers. Dans ce scénario, de la phase organique pourrait être piégée au toit des marnes et

avoir migré suivant la géométrie du toit de ce substratum, vers des zones de dépression. Ainsi, en situation extrême (en considérant que la phase organique a atteint le substratum sans avoir été au préalable dissoute ou adsorbée), cette phase organique qui aurait migrée au travers des sables et graviers, ne serait pas nécessairement présente à l'aplomb exact des zones sources identifiées au sein des horizons argilo-tourbeux.

Les investigations réalisées n'ont pas mis en évidence la présence de phase organique piégée au toit des marnes à l'aplomb des sondages II4, III1 et III7 (zone 2 et zone 3).

#### 6.4.2 Synthèse des zones sources

En résumé, les mesures PID et les analyses de sols montrent :

- une hétérogénéité verticale (centimétrique à décimétrique) des sources identifiées au droit des zones 2 et 3. Cette hétérogénéité est à mettre en relation avec la nature des sols et la proportion plus ou moins importante de tourbe. Par ailleurs, la contamination des sols pourrait être multifactorielle (par exemple, pour le cas de la zone 2, la pollution observée pourrait avoir comme origine, plusieurs déversements ponctuels). Toutefois, en l'absence de cartographie fine des concentrations en COHV dans les sols, il n'est pas possible de statuer sur l'existence d'une ou plusieurs zones sources et sur leur continuité horizontale tant sur la zone 2 que sur la zone 3 ;
- la présence d'un impact en phase dissoute au toit des marnes, au droit de la zone I. Les investigations menées localement dans les sables et graviers (sans toutefois atteindre le toit des marnes), n'ont pas permis d'observer de piégeage de COHV au droit des zones 1, 2 et 3.

Par ailleurs, les investigations ont été contraintes par la présence d'ateliers et bureaux inaccessibles par la machine de forages. Aussi, seule une approche approximative des surfaces et volumes des zones sources, peut être proposée à ce stade. Ces incertitudes ont conduit BURGEAP à estimer les volumes selon une hypothèse haute et une hypothèse basse (cf. tableau suivant).

Rappelons que seules des investigations respectant un maillage très fin et devant être réalisées en partie à l'intérieur de bâtiments utilisés comme ateliers ou bureaux permettraient de compléter de manière rigoureuse la connaissance de l'état du sous sol.

*NB : L'étude historique et les investigations de terrain montrent qu'il est possible que des zones sources soient présentes au droit des bâtiments actuellement utilisés comme bureaux ou ateliers en partie Est de l'usine. Or les COHV sont susceptibles de migrer via la zone non saturée, de l'air des sols vers l'air intérieur des bâtiments. BURGEAP préconise donc de vérifier que les concentrations en COHV dans l'air intérieur des bâtiments sont compatibles avec l'usage qu'il en est fait (ateliers ou bureaux). Ces analyses sont en cours aujourd'hui (les résultats n'étaient pas connus à la date du présent rapport).*

### 6.4.3 Estimation des surfaces et volumes des zones sources

Deux hypothèses théoriques et restantes à vérifier par des investigations complémentaires ont été considérées :

- **Hypothèse basse** : la phase organique n'est présente qu'au sein des horizons argilo-tourbeux. Pour six sondages réalisés, les concentrations en COHV mesurées dans les horizons argilo-tourbeux indiqueraient la présence de phase organique. Or le retour d'expérience sur les pollutions par les COHV, indique que ces zones sont classiquement localisées à l'aplomb des endroits où ont eu lieu les pertes, fuites, déversements, etc. et sont des zones de dimensions réduites (surfaces de quelques m<sup>2</sup> à quelques dizaines de m<sup>2</sup>). Ainsi, pour chacun des sondages où de la phase organique serait présente, nous avons considéré une zone source minimale s'étendant sur une surface de 25 m<sup>2</sup>. Le cas de zones sources plus étendues dans les argiles et tourbes a également été étudié. Ces dimensions sont théoriques et permettent d'établir un premier chiffrage indicatif ;
- **Hypothèse haute** : de manière à considérer les incertitudes subsistant à la date du présent rapport, l'hypothèse haute de chiffrage est basée sur des hypothèses majorant, très probablement, le volume des zones sources. Ainsi, on considère la présence de phase organique au sein des alluvions argilo-tourbeuses, soit sur une épaisseur de l'ordre de 6,5 m et au toit des marnes sur une épaisseur de 0,5 m (ce dernier point est très certainement excessif). L'emprise maximale de ces zones sources est basée sur l'étude historique qui a permis de recenser les bâtiments où des activités potentiellement polluantes ont pris place. Les connaissances actuelles ne permettent pas de restreindre ces hypothèses à une potentielle cuve ou à un atelier.

	Synthèse du diagnostic	Localisation probable de la (ou des) zones sources		Surface des zones sources (hypothèse) - m <sup>2</sup>	Epaisseur des zones sources (m)	Volume des zones sources (m <sup>3</sup> )	Concentrations totale en COHV (mg/kg MS)		Concentration moyenne sur le volume moyen	Masse moyenne de COHV dans le volume moyen (kg)
		Hypothèse de zones sources peu étendues	Hypothèse de zones sources plus étendues				minimum	maximum		
Zone 1	Pas de zones sources mises en évidence dans les argiles et tourbes Présence possible de phase organique au toit des marnes	Zone source 1-1		S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup> S = 50*25 m <sup>2</sup> (toute la partie Sud du bâtiment 2bis)	6 m	150	Non Déterminé	Non Déterminé	Non Déterminé	Non Déterminé
		Zone source 1-1								
Zone 2	Produit primaire : le PCE Suivant approche théorique, présence de phase organique probable dans les argiles et tourbes a minima au droit de 4 sondages (I13, I14, I15 et I17).	Zone source identifiée au droit du sondage I13		S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup> S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup> S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup> S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup>	6 m	150	400	Non Déterminé	Non Déterminé	114
		Zone source identifiée au droit du sondage I14								
		Zone source identifiée au droit du sondage I15								
		Zone source identifiée au droit du sondage I17								
Zone 3	Produit primaire : le PCE Suivant approche théorique, présence de phase organique probable dans les argiles et tourbes a minima au droit de 4 sondages (I11, I12, I13 et I17).	Hypothèse de zones sources plus étendues		Zones sources étendues sous les bâtiments 14 et 1 bis, S = 80*25 m <sup>2</sup>	6 m	12 000	Non Déterminé	Non Déterminé	Non Déterminé	Non Déterminé
		Zone source identifiée au droit du sondage I11								
		Zone source identifiée au droit du sondage I12								
		Zone source identifiée au droit du sondage I13								
Zone 3	Produit primaire : le PCE Suivant approche théorique, présence de phase organique probable dans les argiles et tourbes a minima au droit de 4 sondages (I11, I12, I13 et I17).	Hypothèse de zones sources peu étendues et non reliées les unes aux autres		S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup> S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup> S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup> S = 5*5 m <sup>2</sup> = 25 m <sup>2</sup>	6 m	150	343	18750	9547	2721
		Zone source identifiée au droit du sondage I11								
		Zone source identifiée au droit du sondage I12								
		Zone source identifiée au droit du sondage I13								
Zone 3	Produit primaire : le PCE Suivant approche théorique, présence de phase organique probable dans les argiles et tourbes a minima au droit de 4 sondages (I11, I12, I13 et I17).	Hypothèse de zones sources plus étendues		Sous le bâtiment 3 et sous l'atelier de nickelage, S = 50*20 + 50*15	6 m	10500	Non Déterminé	Non Déterminé	Non Déterminé	Non Déterminé
		Zone source identifiée au droit du sondage I17								
		Zone source identifiée au droit du sondage I17								
		Zone source identifiée au droit du sondage I17								
Hypothèse haute considérant l'incertitude quant à la délimitation des zones sources et la qualité des sols sous les bâtiments, non accessibles lors des investigations d'août 2008 (bureaux et/ou ateliers)	Le produit primaire prépondérant serait le PCE La zone ou les zones sources couvrent : 50 % du bâtiment 2bis : 500 m <sup>2</sup> Bât. 1 bis et bât. 14 : 1700 m <sup>2</sup> Bât. 3 et atelier de traitement de surface : 5000 m <sup>2</sup> soit un total de 7 200 m <sup>2</sup>	Dans les secteurs Ouest et Sud-ouest de l'usine SAFT (bâtiments susceptibles d'être concernés : Sud du bâtiment 7 et notamment l'atelier de dégraissage et nickelage, le bâtiment 3, le bâtiment 2, le sud du bâtiment 2 bis, bâtiment 14 et bâtiment 1bis)		S = 7 200 m <sup>2</sup>	7 m	50 400	Non Déterminé	Non Déterminé	Non Déterminé	Non Déterminé

**Tableau 6 – Estimation indicative des volumes de zones sources suivant une hypothèse basse et une hypothèse haute**

## 6.5 Estimation du débit de la nappe et du flux de pollution en limite aval des zones sources 2 et 3

*NB : ce chapitre fait l'objet d'un résumé spécifique que le lecteur trouvera en fin de l'exposé qui suit.*

L'estimation du débit de la nappe et du flux de pollution est nécessaire pour apprécier la durée de vie des zones sources, évaluer l'impact dans le temps de l'enlèvement des zones sources, et étudier différentes stratégies de dépollution tels qu'un pompage/traitement, une barrière réactive, ou toute technique in situ dans la nappe (oxydation chimique, biodégradation, ...).

Etant données les connaissances acquises lors du présent diagnostic, cette évaluation portera sur les zones 2 et 3 pour lesquelles la présence de phase organique a été mise en évidence. En l'état actuel des connaissances, il ne serait pas pertinent de développer une telle approche pour la zone 1.

Les pompages d'essai réalisés en juillet 2007 et la synthèse documentaire ont permis d'estimer la transmissivité (T en m<sup>2</sup>/s) et la perméabilité (K en m/s) de l'aquifère des sables et graviers. A l'inverse, les paramètres hydrodynamiques des alluvions argilo-tourbeuses sus-jacentes n'ont pas pu être approchés par des mesures de terrain compte tenu des caractéristiques de piézomètres<sup>5</sup>. Une approche a donc été faite à l'appui de données bibliographiques.

*NB : il n'est pas exclu qu'à la faveur des périodes de hautes eaux, cette formation devienne le siège d'une nappe temporaire qui génère ponctuellement un flux sortant de COHV du site de SAFT.*

Le levé des coupes de sondages de sols et des piézomètres renseigne par ailleurs sur la puissance et la profondeur des différents aquifères pouvant être considérés (d'une part les alluvions argilo-tourbeuses et d'autres part les alluvions sablo-graveleuses).

A partir des différentes campagnes de relevés piézométriques réalisées en 2007 et 2008, l'épaisseur (e en m) et la pente (ou gradient i en %) des nappes ont pu être déterminées.

Ainsi, pour chacun des deux horizons alluvionnaires considérés, le débit de nappe (débit de Darcy), Q, a été calculé comme le produit  $Q = K \cdot i \cdot e \cdot l$  (l étant la largeur de front de nappe projeté sur une ligne perpendiculaire à l'écoulement). Pour le calcul des flux, nous considérerons des largeurs de front respectivement de 25 et 50 mètres à l'aval hydraulique des zones 2 et 3.

<sup>5</sup> En effet, les piézomètres du site captent le toit des alluvions sablo-graveleuses ou un horizon intermédiaire, ce qui rend impropre toute lecture rigoureuse d'un essai de pompage.

## 6.5 Estimation du débit de la nappe et du flux de pollution en limite aval des zones sources 2 et 3

*NB : ce chapitre fait l'objet d'un résumé spécifique que le lecteur trouvera en fin de l'exposé qui suit.*

L'estimation du débit de la nappe et du flux de pollution est nécessaire pour apprécier la durée de vie des zones sources, évaluer l'impact dans le temps de l'enlèvement des zones sources, et étudier différentes stratégies de dépollution tels qu'un pompage/traitement, une barrière réactive, ou toute technique in situ dans la nappe (oxydation chimique, biodégradation, ...).

Etant données les connaissances acquises lors du présent diagnostic, cette évaluation portera sur les zones 2 et 3 pour lesquelles la présence de phase organique a été mise en évidence. En l'état actuel des connaissances, il ne serait pas pertinent de développer une telle approche pour la zone 1.

Les pompages d'essai réalisés en juillet 2007 et la synthèse documentaire ont permis d'estimer la transmissivité (T en m<sup>2</sup>/s) et la perméabilité (K en m/s) de l'aquifère des sables et graviers. A l'inverse, les paramètres hydrodynamiques des alluvions argilo-tourbeuses sus-jacentes n'ont pas pu être approchés par des mesures de terrain compte tenu des caractéristiques de piézomètres<sup>5</sup>. Une approche a donc été faite à l'appui de données bibliographiques.

*NB : il n'est pas exclu qu'à la faveur des périodes de hautes eaux, cette formation devienne le siège d'une nappe temporaire qui génère ponctuellement un flux sortant de COHV du site de SAFT.*

Le levé des coupes de sondages de sols et des piézomètres renseigne par ailleurs sur la puissance et la profondeur des différents aquifères pouvant être considérés (d'une part les alluvions argilo-tourbeuses et d'autres part les alluvions sablo-graveleuses).

A partir des différentes campagnes de relevés piézométriques réalisées en 2007 et 2008, l'épaisseur (e en m) et la pente (ou gradient i en %) des nappes ont pu être déterminées.

Ainsi, pour chacun des deux horizons alluvionnaires considérés, le débit de nappe (débit de Darcy), Q, a été calculé comme le produit  $Q = K \cdot i \cdot e \cdot l$  (l étant la largeur de front de nappe projeté sur une ligne perpendiculaire à l'écoulement). Pour le calcul des flux, nous considérerons des largeurs de front respectivement de 25 et 50 mètres à l'aval hydraulique des zones 2 et 3.

<sup>5</sup> En effet, les piézomètres du site captent le toit des alluvions sablo-graveleuses ou un horizon intermédiaire, ce qui rend impropre toute lecture rigoureuse d'un essai de pompage.

Le **Tableau n°8** synthétise ces calculs.

		Conductivité hydraulique (théorique pour les argiles et tourbes et mesurées pour les sables) (m/s)	Gradient hydraulique de la nappe (écoulement non influencé) (m/m)	Epaisseur d'aquifère mouillé considéré (m)	Largeur du front de nappe considérée (m)	Débit des nappes en limite aval de chaque zone source (m <sup>3</sup> /j)	Concentrations moyennes* (mg/l)	Flux de COHV estimés (en limite aval des zones sources) (kg/jour)
Zone2	Argiles et tourbes	2.10 <sup>-6</sup>	0.001	6	40	0.04	28	0.001
	Sables et graviers	1.10 <sup>-3</sup>	0.001	12	40	52	4.5	0.234
Zone3	Argiles et tourbes	2.10 <sup>-6</sup>	0.001	6	50	0.06	110	0.006
	Sables et graviers	1.10 <sup>-3</sup>	0.001	12	50	65	22	1.43

\* : Concentrations moyennes calculées à partir des concentrations en nappe mesurées au droit des piézomètres P2 et P3 et à partir des prélèvements d'eaux interstitielles

### Tableau 7 – Débits des nappes alluvionnaires et flux de COHV transportés par les eaux souterraines en limite aval des zones sources identifiées

Ce tableau indique que bien que les concentrations en COHV dans la nappe des sables et graviers sont moindres que celles des argiles et tourbes, le flux de COHV transitant via cet aquifère représente la quasi-totalité du flux total de COHV émis par les zones sources et pouvant éventuellement sortir du site SAFT.

En résumé, bien que les concentrations en COHV dans les argiles tourbeuses soient plus importantes que dans l'horizon sous-jacent, le flux de COHV sortant du site de SAFT se fait principalement via la nappe des sables et graviers.

## 6.6 Estimation de la durée de vie des zones sources

Il est possible d'estimer la durée de vie pendant laquelle les zones sources impacteront la qualité des eaux souterraines en aval du site, dans l'hypothèse où elles ne seraient pas enlevées ou traitées.

La durée de vie minimale des zones sources au droit des zones 2 et 3, c'est-à-dire la durée minimale nécessaire pour que le stock de phase organique soit entièrement lessivé par le passage des eaux souterraines, durée pendant laquelle la qualité des eaux de la nappe restera impactée, a été estimée entre 12 et 120 ans respectivement pour les sables et graviers et les tourbes. Cette estimation peut être considérée comme une valeur basse, cette approche ne tenant pas compte de la diminution du flux de dissolution au cours du temps (les travaux expérimentaux en laboratoire montrent un net ralentissement de la dissolution à la fin du processus).

## 6.7 Impact dans le temps de l'enlèvement des zones sources sur la qualité de l'eau de nappe

Sur le plan théorique, une fois enlevée la phase organique du milieu souterrain (élimination d'au moins 90% du stock par excavation ou traitement in situ), les concentrations en COHV en phase dissoute dans l'eau de nappe devraient diminuer drastiquement, le flux d'alimentation par dissolution étant supprimé.

Dans la pratique, les concentrations en COHV dans la nappe en limite aval du site ne diminueront significativement que très progressivement et après un délai plus ou moins long après l'enlèvement des zones sources, et ceci pour deux raisons :

- d'une part, il convient de prendre en compte le temps de transfert de l'eau de nappe contenue dans les sables et graviers des zones sources jusqu'à la limite aval du site. Cette nappe est considérée puisqu'il s'agit de la ressource en eaux souterraines susceptible d'être utilisée en aval hydraulique du site pour des usages sensibles (car plus productive que celle des alluvions modernes) et les phénomènes de biodégradation y sont moins efficaces qu'au sein des argiles et tourbes. Ce temps de transfert au sein des alluvions sablo-graveleuses est respectivement de 1 et 5 ans pour les zones 2 et 3 (ce calcul a été réalisé sans considérer l'influence du pompage industriel sur les écoulements d'eaux souterraines, qui, par son fonctionnement actuel par intermittence, pourrait ralentir le transfert des composés dissous vers l'aval hydraulique du site). Soulignons que cette estimation ne prend pas en compte l'abattement des concentrations en nappe le long du panache de composés dissous à la faveur des phénomènes d'atténuation naturelle (par exemple, biodégradation, volatilisation, dispersion du panache, « dilution »...);
- d'autre part, l'eau de nappe au droit des zones sources demeurera alimentée en COHV pendant un laps de temps par la désorption des COHV résiduels adsorbés sur la matrice solide et la diffusion des COHV présents dans l'eau immobile liée au terrain. La fourchette de durée varierait, pour l'aquifère des sables et graviers, entre quelques mois et 5 ans environ. Elle serait sensiblement supérieure pour l'aquifère des argiles et tourbes.

Ainsi, un début d'amélioration de la qualité de la nappe à la limite aval des zones sources devrait pouvoir être constaté quelques années après l'enlèvement des zones sources. Cela suppose toutefois que l'enlèvement des zones sources soit complet (ou l'essentiel du stock de phase organique). On rappellera à cet égard que seules les solutions par excavation permettent d'atteindre ce résultat, et que le rendement des traitements de dépollution « in situ » n'atteint jamais 100%, mais se situe plutôt habituellement entre 50 et 90 % voire moins, lorsque les polluants sont piégés dans les argiles tourbeuses.

## 7 Mise à jour du schéma conceptuel

Le schéma conceptuel a pour finalité d'identifier et de caractériser :

- les sources de pollution ;
- les vecteurs de pollution ;
- les cibles potentielles.

Un premier schéma conceptuel avait été réalisé au terme du diagnostic mené par BURGEAP en 2007. Celui-ci a été mis à jour grâce aux informations complémentaires collectées lors de l'enquête de quartier d'avril 2010, lors de l'étude historique de la société MAVESA et lors du diagnostic mené en Août 2008.

Il est illustré par la **figure 0** et discuté dans les paragraphes suivants.

### 7.1 Les sources de pollution par les COHV

Trois zones sources de pollution ont été identifiées au droit du site SAFT :

- La présence de composés dissous en nappe, à la base des alluvions sablo-graveleuses, peut être imputable à une pollution résiduelle, peut-être, à une zone source suspectée au toit des marnes en amont hydraulique de la zone 1. Les diagnostics réalisés n'ont pas permis de montrer la présence de phase organique dans les argiles et tourbes (alluvions récentes), bien que celle-ci ne puisse être exclue. L'origine de cette contamination n'est, en l'état actuel des connaissances, pas définie ;
- des zones sources dans les argiles et tourbes (alluvions récentes) au droit des zones 2 et 3. Pour ces zones, à l'aplomb des sondages réalisés jusqu'à la base des alluvions anciennes, il n'a pas été mis en évidence de phase organique au toit des marnes. Pour chacune de ces zones, une ou plusieurs origines peuvent être incriminées. Concernant la zone 2, il s'agirait du dépôt de fûts contenant des solvants ; concernant la zone 3, il s'agirait des anciens ateliers de traitement de surface et notamment, l'installation de dégraissage de l'atelier de nickelage. Le produit primaire prépondérant serait le PCE.

Pour l'ensemble de ces zones, la présence de bâti et la suspicion de plusieurs origines rendent difficile la délimitation des zones sources.

### 7.2 Vecteurs et Cibles sur site

#### 7.2.1 Les voies de transfert de la source de pollution sur site

Compte tenu des sources de pollution et de l'usage industriel sur l'ensemble du site, les modes de transfert de la source vers les autres milieux sont :

- **la volatilisation à partir des sols et des eaux souterraines** contaminés des composés volatils et transfert au travers des parois d'un bâtiment ou de la couverture des aires extérieures (bitume, béton ou terre végétale). Cette exposition a fait l'objet de prélèvements et d'analyses par SAFT dans le cadre de l'exposition des employés à leurs postes de travail (ateliers). Aucun transfert de polluants vers l'air ambiant n'a été mis en évidence à ce jour. Des analyses complémentaires sont en cours (à la date de l'émission du présent rapport) au droit des 3 zones de pollution identifiées, afin de lever toute incertitude quant au risque pris par les usagers des bureaux et ateliers du site.
- **la volatilisation à partir des eaux souterraines captées par le puits industriel** et utilisées pour les besoins industriels de SAFT.

Sont exclus :

- **le contact direct avec les sols** : la majeure partie du site est recouverte de bâtiments présentant une dalle cimentée, de voiries bétonnées ou de terre végétale supposée non impactée. Un contact direct avec les sols contaminés semble pouvoir être exclu ;
- **la perméation au travers de conduites d'amenée d'eau Potable**. En effet, les représentants de SAFT ont indiqué que les conduites d'alimentation AEP sont aériennes. Cette voie d'exposition n'est donc pas envisageable.
- **le contact direct avec les eaux souterraines** : aucun usage sensible des eaux souterraines n'a lieu au droit du site SAFT.

### 7.2.2 Les cibles sur site

Les cibles présentes sur le site SAFT sont des personnes adultes travaillant sur l'usine.

## 7.3 Vecteurs et enjeux hors site

### 7.3.1 Les enjeux hors site

Les enjeux identifiés en aval hydraulique du site sont des zones résidentielles (la zone d'habitat individuel la plus proche est située à l'Ouest du site, an latéral hydraulique), des zones récréatives (espaces verts, jardins familiaux, base nautique) et des établissements recevant du public (écoles). Ces zones sont fréquentées, de manière chronique, par des enfants et des adultes habitant, travaillant, allant à l'école ou fréquentant de manière occasionnelle ce secteur (notamment la ferme pédagogique). Cette population peut compter des personnes vulnérables, elle est donc dite sensible.

Concernant les zones d'habitat individuel, l'enquête de quartier a montré que des potagers y étaient cultivés et pouvaient être arrosés par des eaux de nappe.

### 7.3.2 Les voies de transfert de la source de pollution hors site

Pour les trois zones, l'interprétation des données montre que la biodégradation par déchloration réductrice des COHV est active dans la nappe et conduit à la formation de produits finaux peu toxiques (chlorures, éthane et éthène), mais que cette dégradation n'est pas suffisamment rapide et efficace pour dégrader tous les intermédiaires métaboliques jusqu'à une concentration acceptable en limite aval du site. Ainsi, comme noté au §6.2, les diagnostics tendent à montrer une accumulation relative des métabolites intermédiaires (notamment chlorure de vinyle) au sein des panaches de composés dissous, en aval de zones sources.

En l'état actuel des connaissances, il ne peut donc être exclu que le panache de pollution par les COHV migre via les eaux souterraines hors site et possiblement jusqu'aux cibles identifiées en aval hydraulique du site. En effet, l'exploitation actuelle du forage industriel ne génère pas une barrière hydraulique confinante de manière durable la totalité du site, et notons que notre connaissance de la piézométrie ne permet pas de connaître sa géométrie, hors site, et donc son efficacité réelle.

Ainsi le principal vecteur de transfert des COHV de la source de pollution vers les cibles hors site est **la migration via les eaux souterraines contenues dans les alluvions**. La phase organique est majoritairement piégée dans les argiles et tourbes. Les COHV ainsi retenus, migrent essentiellement sous forme dissoute vers la nappe contenue dans les sables et dans une moindre mesure via la nappe temporaire de surface et les niveaux argileux, cette migration étant accélérée à la faveur du forage industriel. Or la vitesse de migration des panaches de pollution dissoute est environ 100 fois plus rapide dans les sables que dans les argiles (voire remblais de surface). Par conséquent, le panache de pollution est susceptible de migrer plus loin et plus vite dans les sables que dans les niveaux sus-jacents.

### 7.3.3 Les voies d'exposition possibles

**Au niveau des enjeux identifiés en aval hydraulique du site, les voies d'exposition potentielles sont :**

- la volatilisation à partir des eaux souterraines des composés volatils et la dispersion atmosphérique ou transfert au travers des parois d'un bâtiment ;
- le contact direct avec les eaux souterraines. Cette voie d'exposition demeure peu vraisemblable, l'enquête de quartier n'ayant pas montré un usage sensible des eaux souterraines en aval hydraulique direct du site (alimentation en eau potable ou remplissage des piscines, par exemple). Par ailleurs, les usages sur les eaux superficielles susceptibles d'être en relation avec la nappe (base nautique par exemple) sont très éloignés du site de SAFT ;
- le contact indirect avec, par exemple, l'ingestion de fruits et légumes provenant d'un potager irrigué par les eaux souterraines ou susceptible de capter directement les eaux de la nappe contaminée. Cette voie d'exposition concernerait essentiellement la zone d'habitat individuel localisée à l'Ouest du site ( soit en latéral hydraulique du site). Les jardins familiaux étant alimentés par l'eau de ville.

Afin d'évaluer l'impact potentiel du site sur la qualité des eaux souterraines dans le secteur d'habitat individuel de la rue Durin, un prélèvement a été réalisé le 28 Mai 2010 au sein d'un puits maçonné de 3 m de profondeur (il capte vraisemblablement un niveau de remblais et/ou les alluvions récentes). Le compte-rendu de ce prélèvement ainsi que le bordereau d'analyses sont présentés en **annexe 15**. Les COHV et BTEX n'y ont pas été détectés. Cette intervention confirme qu'au droit du secteur d'habitat individuel de la rue Durin (latéral hydraulique), la qualité des eaux souterraines de la nappe phréatique (vraisemblablement contenue dans les remblais et/ou dans les alluvions modernes) n'est pas impactée par la contamination du site SAFT et, que les personnes y résidant ne sont pas susceptibles d'être exposées à la pollution du site via l'utilisation des eaux souterraines.

Nappes en  
Communication ?  
voir schéma  
Conceptuel  
p 0

## 8 Etude des solutions de gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines

### 8.1 Rappel des hypothèses prises en compte

Les hypothèses retenues pour conduire cette évaluation sont rappelées ci-après :

- la présence de phase organique a été mise en évidence à l'aplomb de 8 sondages au droit des zones 2 et 3, dans les alluvions argilo-tourbeuses présentes à moins de 7 m de profondeur. La densité des sondages réalisés, la présence de bâtiments occupés par des bureaux ou des ateliers et la complexité de la géométrie des dépôts alluvionnaires argilo-tourbeux n'ont pas permis de dénombrer ni de circonscrire les zones sources ;
- l'extension verticale des zones sources a été estimée à un maximum de 7 mètres. Aucune zone source au sein des alluvions sablo-graveleuses et au toit des marnes n'a été mise en évidence au droit des 3 zones investiguées ;
- les sources concernent essentiellement la zone saturée, le niveau piézométrique de la nappe s'établit à 2 m environ sous la surface du sol ;
- au sein des zones sources, une grande hétérogénéité verticale des concentrations en COHV est mise en évidence, celles-ci dépendant notamment de la charge en tourbes (soit en matière organique) des horizons argileux. En effet, les résultats présentés au tableau 5 montrent la grande affinité des COHV pour la tourbe. Une hétérogénéité horizontale des concentrations existe également, les horizons tourbeux ne constituant pas des niveaux continus ;
- l'eau souterraine qui circule dans les alluvions argilo-tourbeuses ou sablo-graveleuses se charge en composés chlorés en solution, avant de migrer, hors influence du pompage industriel, vers le Nord-Ouest en direction du Lac. En l'état actuel des connaissances, la migration des panaches de composés dissous hors site n'a pas été caractérisée ;
- l'aquifère des alluvions argilo-tourbeuses constitue un milieu favorable à la biodégradation anaérobie des COHV ;
- la nappe alluviale est susceptible de faire l'objet d'un usage sensible en aval hydraulique du site SAFT.

### 8.2 Enjeux et objectifs des mesures de gestion de la pollution des sols et des eaux souterraines

Les objectifs généraux de la réhabilitation du site ont été déterminés en référence à l'arrêté préfectoral du 24 Avril 2007 et à la lettre de la DRIRE Aquitaine en date du 21 Avril 2008.

Ces objectifs généraux sont les suivants :

1. Etudier les solutions de suppression des zones sources de pollution. La ou les solutions doivent reposer sur les meilleures techniques de dépollution disponibles dans des coûts économiquement acceptables ;
2. Etudier les solutions conduisant à une désactivation des voies de transfert de la pollution.

## 8.3 Les types d'approches envisageables pour la gestion du site

### 8.3.1 Dépollution par traitement des zones sources (suppression ou diminution du stock de phase organique)

Pour le traitement des composés chlorés dans la zone non saturée et saturée, différentes techniques sont envisageables, regroupées dans les 3 grandes familles suivantes :

- **in-situ** : traitement de la pollution en place dans le milieu où elle se trouve ;
- ex-situ et **sur site** : extraction des sols pollués, traitement sur le site dans une installation mobile, puis remise en remblai ;
- ex situ et **hors site** : extraction des sols pollués, traitement dans une filière spécialisée extérieure au site, remblaiement des fouilles par un matériau sain d'apport extérieur.

Dans la plupart des cas, il n'existe pas de schéma type de traitement mais diverses technologies éprouvées devront être associées dans une approche adaptée à chaque situation et au résultat recherché.

Le choix d'une technologie de traitement est guidé par les considérations ci-après.

- **les conditions d'accès à la source** : Pour le site SAFT, les investigations de terrain ont montré qu'il était probable que certaines zones sources étaient localisées au droit d'ateliers ou bâtiments de bureaux. Pour atteindre ces zones, il serait alors nécessaire de suspendre les activités prenant place au sein de bâtiments tant pour circonscrire de manière précise les zones sources que pour mettre en place un traitement in-situ ;
- **les conditions physico-chimiques du milieu à traiter** : oxygénation, pH, porosité, teneur en matière organique et perméabilité à l'eau des couches géologiques, niveau statique de la nappe.
- **les objectifs à atteindre (qualitatif, quantitatif)** : ici comme indiqué plus haut nous avons considéré des objectifs à 300 mg/kg dans les argiles, à 1000 mg/kg dans les tourbes et argiles tourbeuses et à 50 mg/kg MS dans les sables et remblais sablo-graveleux.
- **la durée du traitement** : dans le cas présent le site SAFT ne faisant pas l'objet de projet de cessation d'activité, la contrainte liée à la durée de traitement est peu significative ;
- **les nuisances engendrées par le traitement** : les traitements proposés s'attachent à générer le moins de nuisances possibles compte tenu de l'usage du site et de son voisinage. Notons que le site est en activité, le traitement devra interférer le moins possible avec l'activité du site et les risques et nuisances pour le personnel devront être correctement gérées.
- **le coût** : certaines techniques sont écartées lorsqu'elles supposent la mobilisation de moyens d'une ampleur sans rapport avec les enjeux.
- **la simplicité de mise en œuvre** : une technique simple et éprouvée est toujours préférée à une technique sophistiquée ou encore au stade expérimental qui limiterait le nombre d'entreprises répondant à une consultation.

Compte tenu des substances et des concentrations identifiées dans les sols, des hypothèses rappelées au paragraphe 6.41, et des considérations ci-dessus, le **tableau n°8** présente l'ensemble des techniques théoriquement envisageables en première approche sur le site de SAFT ; il indique celles que nous retenons pour une évaluation plus détaillée au chapitre suivant (surlignées en jaune), et décrit les raisons qui nous conduisent à faire ces choix.

Soulignons ici que le traitement sur site par extraction des sols pollués (techniques Hors site et/ou sur site) a été exclu des solutions envisageables, les zones sources étant situées sous le niveau de la nappe et, en partie, très probablement, sous des bâtiments utilisés pour les activités de l'usine. Un rabattement du niveau de nappe au sein des horizons tourbeux pourrait entraîner un tassement des sols et porter préjudice aux structures des bâtiments du site.

Ta

Objectifs	Techniques In situ	Principe de traitement	Problématique	Durée	Garanties
Diminution du stock de phase organique	Extraction Double Phase / Extraction Triple Phase	Extraction sous vide au travers de nombreuses aiguilles	pas donc plus pas les rayons à des sources	de l'ordre de 1 à 3 années	Technique éprouvée Coût de charbon actif pour le traitement des gaz difficile à estimer: Pilote indispensable,
	Venting	Extraction des gaz sous vide dans la ZNS	Par ailleurs, gradation aérobie les risques		--
	Bioventing	Biodégradation des gaz		--	--
	Air Sparging	Volatilisation des composés de la nappe dans un gaz vecteur (par injection d'air)	es trajets de la présence de entielles des gaz ns en COHV dans	--	--
	Biostimulation aérobie	stimulation de biodégradation aérobie en nappe par injection d'O2		--	--
	Biostimulation anaérobie	stimulation de biodégradation anaérobie en nappe par injection de substrat carboné	processus ent. Le traitement -niveaux pour es couches.	2 à 5 ans	Concerne le site à plus grande échelle et pas seulement les zones les plus concentrées
	Oxydation in situ	Destruction des composés par des oxydants forts	localisées. e en grande les perméabilités	moins d'une année sur petit stock, de l'ordre de 2 à 3 années en cas de sources importantes	Technique éprouvée Quantité d'oxydant à mettre en œuvre impossible à estimer à ce stade mais potentiellement très important du fait de l'abondance de MO dans les horizons argilo-tourbeux. Phase pilote obligatoire
	Réduction in situ	Destruction des composés par des réducteurs forts		--	--
Soil mixing à la tarière sous injection d'oxydant	Destruction des composés par des oxydants forts	localisées et sement étudié	moins d'une année	--	
OBJECTIFS	Techniques Hors site	Principe de traitement	Problématique	Durée	Garanties
Suppression des zones sources	Elimination hors site des terres	Excavation des terres, chargement et transport des terres vers une filière appropriée	des bâtiments en te dans un contexte t incidence sur le es provenant de la isiter un dispositif écants ancrés aux	moins d'une année	--

Ainsi, à l'analyse de ce tableau, deux grands principes de traitement in-situ pourraient être retenus pour la problématique spécifique au site SAFT :

- l'extraction sous vide ;
- la biostimulation.

### 8.3.1.1 L'extraction sous vide

L'extraction sous vide est un procédé **in-situ** permettant d'extraire les **composés organiques volatils** de la **zone insaturée et de la zone saturée** (phase pure, adsorbée, gazeuse et dissoute dans l'eau interstitielle). Cette technique consiste à mettre en dépression la zone insaturée et la zone saturée simultanément et à induire des circulations d'air et d'eau centrées sur et en direction de chaque puits d'extraction souvent appelé « aiguille ». L'extraction des eaux souterraines permet de dénoyer une frange de terrain normalement saturée et d'extraire par les gaz des composés volatils.

Le renouvellement de l'air dans les pores du sol a pour conséquence de modifier les équilibres chimiques entre les différentes phases présentes. Ainsi, au cours de son passage à travers la zone contaminée, l'air se "charge" en polluant. Ces gaz et les eaux sont récupérés dans les points d'extraction sous vide et traités en surface.

Dans la frange désaturée le traitement est similaire à un "venting". Ce dernier est efficace sur les composés organiques volatils (COV) ayant une tension de vapeur supérieure à 0,5 mm Hg (67 Pa) (à 20°C). Il sera d'autant plus efficace que la constante de Henry du polluant sera élevée ; en théorie supérieure à environ 0,01 (à 20°C). On considère souvent que le venting atteint sa limite technique quand **la perméabilité du sol est inférieure à  $10^{-7}$  m/s**.

Dans le cas présent la présence de la tourbe sur laquelle les composés chlorés sont fortement adsorbés et dont la perméabilité est faible peut être un frein à l'efficacité de la technique. Un test pilote d'extraction devra être impérativement mené pour appréhender l'ordre de grandeur des rayons d'action qu'il sera possible d'obtenir en mesurant la dépression créée dans les ouvrages voisins de celui où est appliquée l'extraction, et pour mesurer l'efficacité de l'extraction.

Par ailleurs, cette technique pourrait s'appliquer de manière plus ou moins efficace suivant la perméabilité des horizons de sols.

### 8.3.1.2 La biostimulation in-situ

La dégradation biologique du TCE et du PCE est un phénomène qui peut exister naturellement dans les sols et les nappes polluées si certaines conditions du milieu sont réunies (anaérobiose, ou conditions de réductions, présence de bactéries adaptées, etc.). Ce phénomène est susceptible de dégrader, le plus souvent par une succession de réactions de dégradation (PCE -> TCE-> cis-DCE ->CV -> éthène -> éthane). Toutefois, il n'est significatif que lorsque des conditions particulières sont réunies, notamment une anoxie (absence d'oxygène) complète et des conditions réductrices sévères du milieu.

Les conditions observées sur le site sont favorables à cette dégradation comme en témoignent les concentrations en cis-DCE et chlorure de vinyle relativement aux concentrations en TCE/PCE.

RBx840/A18790/CBxZ081164	
LC – NMO – ANB	
30/08/2010	Page : 45

Si nécessaire, la biodégradation du TCE et/ou du PCE peut être stimulée en apportant au milieu des substances organiques facilement biodégradables en conditions aérobies (classiquement : de la mélasse, une solution de glucose). La biodégradation aérobie de ces substances apportées consomme rapidement la totalité de l'oxygène, voire des autres accepteurs d'électrons (nitrates, sulfates) et rend les conditions RedOx du milieu favorables à la biodégradation anaérobie du TCE. Parallèlement, cette biodégradation aérobie fournit du CO<sub>2</sub>, qui constitue l'accepteur d'électrons privilégié pour la dégradation anaérobie du PCE et du TCE. L'instrumentation des conditions du terrain permet de suivre le déroulement du processus. Le cas échéant, un système de confinement hydraulique (pompage ou/et barrière aérobies) peut être mis en place pour maîtriser la migration en aval des éventuels métabolites de la biodégradation comme le chlorure de vinyle ou le cis dichloréthylène, qui ne sont pas forcément dégradés dans la zone de réduction (le chlorure de vinyle est souvent le dernier sous produit de la dégradation anaérobie, qui est donc incomplète, par contre il est dégradé plus rapidement dans le panache lorsque les conditions redeviennent moins réductrices. L'apparition de ce composé doit être scrupuleusement suivi, et les écoulements des eaux souterraines rigoureusement maîtrisés).

La mise en place d'injection n'apparaît pas nécessaire sur le site de SAFT. Ce constat pourra être revu au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances de la pollution et il pourrait s'avérer que, localement, la mise en œuvre d'actions permettant de mettre le milieu en conditions fortement réductrices pourra être envisagée.

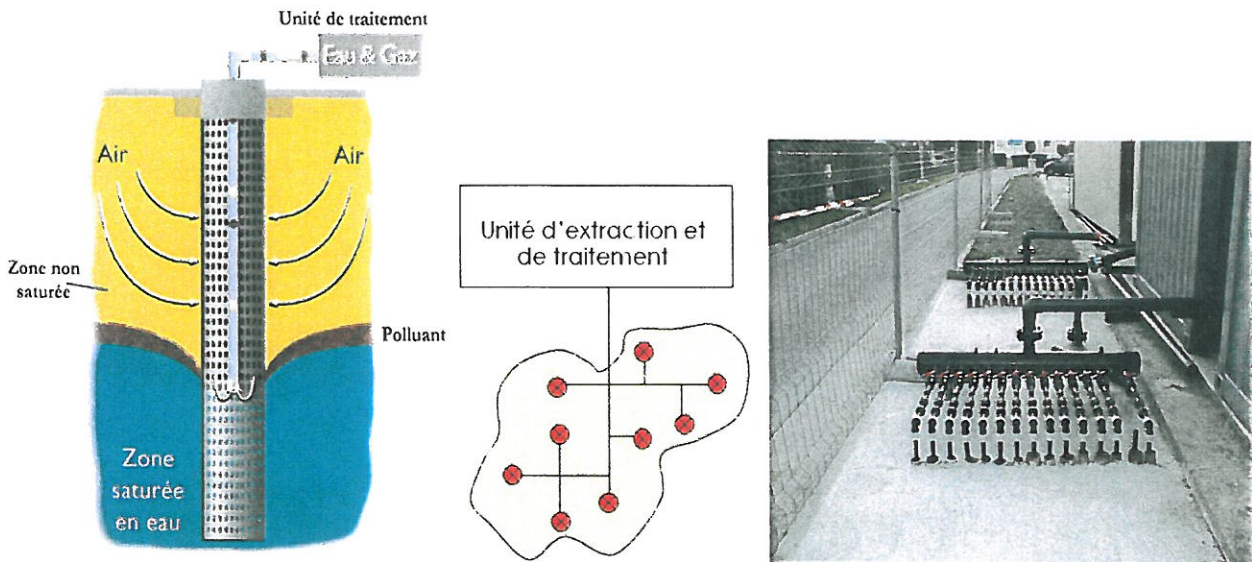
Les facteurs limitant principaux sont les conditions naturelles du milieu. Pour la dégradation des chlorés, des conditions anaérobies sont en effet requises et la présence de tourbe dans les sols du site permet d'assurer une pérennisation des conditions observées (lors d'injection, il n'est pas facile de les créer artificiellement et de pérenniser cet état dans le temps). Par ailleurs, des bactéries sont présentes et dégradent dès à présents les solvants chlorés présents dans le sous-sol ; l'apport de bactéries n'est donc pas nécessaire.

Ce traitement conduit à la formation, au moins de façon transitoire, de cis-dichloréthylène et de chlorure de vinyle, Ce dernier composé est toxique et sa présence doit être suivie. **La mise en place en aval, d'un dispositif de traitement complémentaire de confinement hydraulique** (pompage ou/et barrière aérobies) **permettrait aussi de maîtriser la propagation de cette substance.**

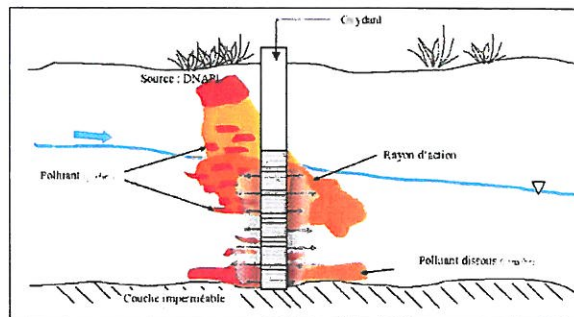
Ce traitement est lent mais des résultats sont déjà visibles considérant les concentrations mesurées en produits de dégradation. La diminution des teneurs en COHV dans les eaux souterraines sera progressive dans le temps, et des atténuations nettes ne sont observables qu'après plusieurs années, voir une ou plusieurs dizaines d'années. **De telles échéances ne sont pas incompatibles avec l'exploitation du site si une bonne maîtrise de la migration éventuelle vers l'aval du site est mise en place.**

RBx840/A18790/CBxZ081164	
LC – NMO – ANB	
30/08/2010	Page : 46

## Extraction sous vide.



## Oxydation.



## Biostimulation anaérobie.

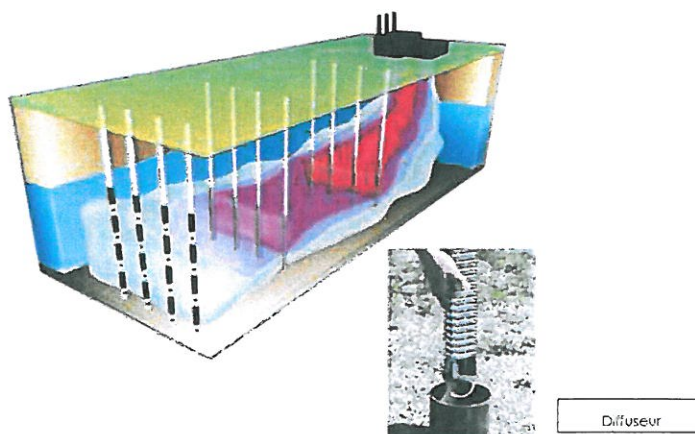


Figure 4 - Illustrations de différentes méthodes in-situ permettant une réduction des stocks de polluants dans les sols

RBx840/A18790/CBxZ081164	
LC - NMO - ANB	
30/08/2010	Page : 47

## 8.3.2 Les dispositifs de confinement (désactivation des voies de transfert via les eaux souterraines)

### 8.3.2.1 Intérêt et critères d'application

Le confinement de l'ensemble ou d'une partie du site peut s'avérer nécessaire dans deux situations :

- cas 1 : une zone source ne peut pas être traitée parce qu'elle est largement étendue sur le site, aussi les coûts engendrés par un traitement seraient prohibitifs. Dans ce cas, il sera néanmoins nécessaire d'empêcher la migration hors site des composés en phase dissoute en aval de celles-ci, eu égard aux enjeux à protéger en aval ; aussi les voies de transfert doivent être éliminées ou maîtrisées ;
- cas 2 : la solution choisie pour le traitement de la zone source est une technique « in situ ». Suivant le rendement d'abattement obtenu, elle peut laisser subsister une pollution résiduelle qui continuera à générer des impacts en aval, aussi les voies de transfert doivent être éliminées ou maîtrisées.

Deux grands principes de confinement peuvent être retenus :

- le confinement hydraulique,
- le confinement par barrière réactive.

### 8.3.2.2 Le confinement par pompage

Il s'agit de réaliser un pompage de la nappe via un ou plusieurs puits situés plus ou moins loin en aval, de manière à générer un cône de rabattement englobant la zone à confiner. Dans le cas de SAFT, ce dispositif de confinement pourrait inclure le puits industriel.

L'eau pompée est traitée avant son rejet ou sa ré-infiltration dans le terrain, en amont ou en aval de la zone à confiner.

La contrainte principale à lever pour mettre en place un tel dispositif sur le site SAFT consiste à :

- déterminer de manière plus précise les caractéristiques hydrodynamiques de chacun des aquifères alluvionnaires ;
- étudier la possibilité de faire fonctionner en continu le puits de pompage, mesurer l'incidence d'un tel régime sur la nappe et mener une étude géotechnique pour évaluer l'incidence et les risques liés au rabattement des eaux souterraines.

La mise en place d'un tel dispositif est assortie d'obligations de surveillance comportant notamment un suivi de la qualité des eaux souterraines en aval hydraulique du site de manière à vérifier l'efficacité du dispositif, et d'obligation de mise en place de dispositif de secours en cas d'arrêt du pompage.

Notre retour d'expérience montre que les dispositifs de pompage et de traitement, situés au cœur de la zone source, deviennent généralement obsolètes (colmatage des puits, oxydation des parties métalliques) et doivent être totalement remplacés en moins de 10 ans.

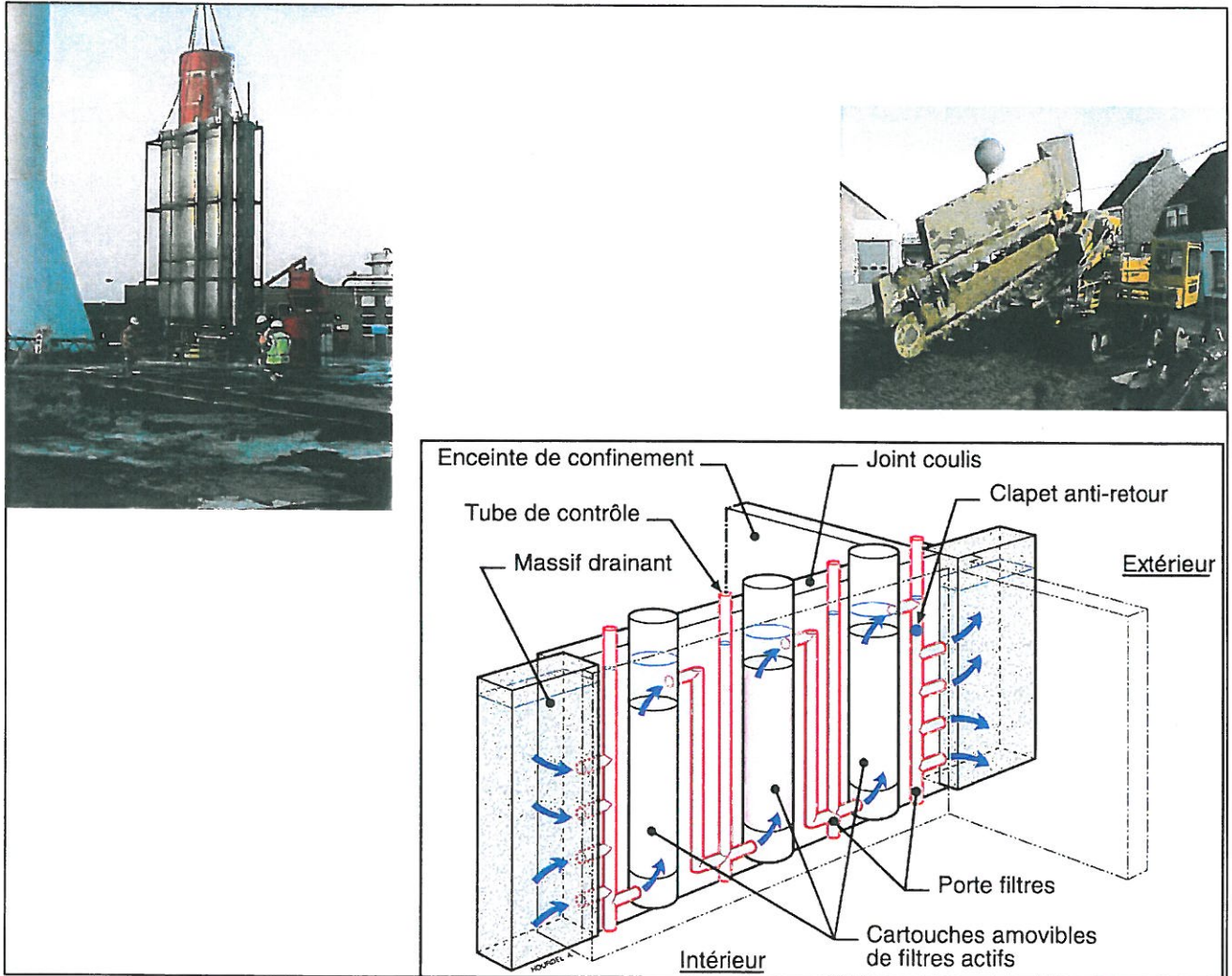
### 8.3.2.3 Le confinement par barrière réactive

Une barrière réactive est constituée de deux éléments :

- une paroi étanche, réalisée en creusant une tranchée dans les différentes couches géologiques jusqu'à un substratum imperméable, ici le toit des marnes vers 17 à 18 m de profondeur. Cette tranchée est remplie d'un mélange de bentonite-ciment très peu perméable;

RBx840/A18790/CBxZ081164	
LC – NMO – ANB	
30/08/2010	Page : 48

- cet écran créé dans le sol empêche l'écoulement naturel de la nappe induisant alors un déséquilibre des niveaux de la nappe phréatique, qu'il est alors nécessaire de rétablir. Pour cela, le second élément de la barrière réactive consiste à aménager dans la paroi étanche, des « portes » permettant l'écoulement de la nappe. Ces portes sont équipées de filtres avec réactif catalysant la réaction d'oxydation des composés chlorés (fer zéro valent). La vitesse de passage de l'eau dans les portes est le garant du traitement des COHV, le débit maximum est de voisin de  $5 \text{ m}^3/\text{j}$ , temps nécessaire à la réaction catalytique de destruction des chlorés. Ainsi, l'écoulement naturel de l'eau de la nappe phréatique permet son traitement.



**Figure 5 - Schéma d'une barrière réactive**

La contrainte principale de mise en place de cette méthode consiste dans la gestion des flux d'eaux souterraines transitant au-travers de l'aquifère des alluvions sablo-graveleuses.

Cette solution ne consomme pas d'énergie et est entièrement passive (sans équipements mécaniques, électriques ni pièces en mouvement) ; la maintenance est généralement limitée au changement des éléments filtrants une ou deux fois par an, cependant elle est souvent très perturbée par les éléments naturels des eaux : ions, oxydes métalliques, etc qui endommagent le catalyseur. Et une mauvaise appréhension des flux au travers des portes remet totalement en question l'efficacité du traitement. Les couts de cette solution sont généralement prohibitifs et nécessite un accès sur toute la longueur du site.

RBx840/A18790/CBxZ081164	
LC - NMO - ANB	
30/08/2010	Page : 49

### 8.3.3 L'atténuation Naturelle sous Surveillance

Lorsque l'ampleur de la contamination engendrerait des coûts qui ne seraient pas proportionnés aux enjeux hors site et/ou que les dispositions sur site ne permettent pas d'envisager un traitement (site exigüe en activité, présence de nombreux bâtiments, de zones ATEX), l'atténuation naturelle sous surveillance peut être envisagée comme solution de gestion de la pollution.

Il s'agit d'une méthode passive consistant au contrôle de l'efficacité des mécanismes de l'atténuation naturelle (biodégradation, volatilisation, adsorption, dispersion, convection, "dilution"...) en mettant en place une surveillance de la qualité des eaux souterraines pour évaluer la compatibilité de la qualité de la nappe, hors site, avec les usages qui en sont faits, et demander un changement des usages, le cas échéant.

Cette méthode est peu efficace dans le cas de pollutions concentrées au regard des délais pouvant être nécessaires à l'observation d'un abattement des concentrations. Cependant, elle peut être adaptée tant que les conditions pour la mise en œuvre d'autres solutions ne sont pas réunies (y compris la condition d'accès aux zones sources).

Cette solution est envisageable pour le site SAFT dans la mesure où les phénomènes de biodégradation dans les argiles et tourbes sont très efficaces. Deux conditions à la faisabilité de cette solution restent toutefois à vérifier :

- (1) que l'extension du panache de composés dissous tant dans les argiles et tourbes que dans les sables et graviers est compatible avec l'usage des eaux souterraines hors site ;
- (2) qu'un abattement des concentrations pourrait être observé sur une période de temps raisonnable.

## 8.4 Bilan coût avantage des techniques de traitement et de confinement des zones sources

Les tableaux 9 et 10 suivants présentent une synthèse technico-économique des différentes mesures de gestion pouvant être envisagées.

Conformément aux objectifs poursuivis par cette étude, deux types de solutions ont été distingués :

- les solutions visant à réduire le stock de phase organique dans les sols au droit des zones sources ;
- les solutions visant à désactiver ou gérer les voies de transfert de la pollution.

Ainsi que souligné précédemment, la mise en place concomitantes de différentes mesures de gestion peuvent être nécessaires (par exemple, dans le cas de la mise en place de traitement in-situ, le rendement n'est pas de 100% et une pollution résiduelle des sols subsisterait. Ces solutions seraient donc à assortir d'un confinement hydraulique des panaches de composés dissous).

Un chiffrage financier pour les différentes solutions de gestion pouvant être retenues est présenté dans le tableau suivant.

Les données restant à acquérir dans le cadre d'une étude de faisabilité sont également listées dans ces tableaux.

### **Scénario 1 : La réduction du stock de polluants**

La répartition des composés chlorés dans les tourbes est très hétérogène et difficile à appréhender avec précision (à ce stade). La meilleure solution pour éliminer les polluants serait l'excavation des terres imprégnées.

Cependant dans le cas du site, une grande partie des polluants est probablement située sous les bâtiments et dans la zone saturée, au droit des zones d'utilisation des produits. Par ailleurs la majeure partie du site est occupée par des bâtiments, des zones d'exploitation et/ou de circulation, aussi il est impossible, sauf à démolir les bâtiments ou zones d'exploitation, d'excaver les terres. Enfin, le dénoyage des niveaux de tourbes, par rabattement de la nappe, pourrait générer des tassements de sols pouvant être préjudiciables pour le bâti.

Burgeap s'est donc tourné vers des techniques de traitement in situ. Il faut cependant prendre en compte le fait que ces techniques reposent sur l'équilibrage des différentes phases (liquide - gaz - produits adsorbés) dans les milieux sols, eaux souterraines et air interstitiel. Il est donc exclu d'obtenir un rendement d'abattement de 100%. Par ailleurs, les rendements les plus importants sont obtenus en début de traitement sur des milieux concentrés, mais il est évident qu'en fonction des propriétés (perméabilité, hétérogénéité, etc) du milieu concerné, de la répartition des polluants dans les différentes couches, des teneurs résiduelles variables sont à attendre localement. Les rendements d'abattement peuvent être approchés et la conduite des techniques optimisées à l'aide de pilotes sur site.

### **Scénario 2 : Le confinement hydraulique**

La contamination est principalement localisée sous les bâtiments et zones d'activité qu'il n'est pas envisageable de démolir à ce stade. Le traitement in situ par dégradation en milieu réduit sera long et le relargage (même s'il est assez faible) à la base des couches d'argiles et de tourbe continuera à se produire pendant la phase de traitement. Un confinement hydraulique complètera donc la gestion de la pollution par la maîtrise du flux de polluants migrant des zones sources vers l'aval du site au Nord/Nord-Ouest.

En l'état actuel des connaissances des panaches de composés dissous en nappe, afin de garantir que l'ensemble des flux issus du site, chargés en composés chlorés, dont le chlorure de vinyle, soient maîtrisés, le confinement devrait intéresser les deux aquifères alluviaux.

## des zones sources (réduction du stock de phase organique)

Moyens de surveillance de l'efficacité de la mesure de gestion		Taille estimée de la source	m <sup>3</sup> terrain imprégné	Rendement d'abattement réaliste (Habituellement obtenu sur ce type de traitement)	Durée du traitement	Estimation financière de la mise en place du système de traitement et de maintenance sur la base des hypothèses précédentes et des données connues à la date du présent rapport * (Ces prix ne prennent pas en compte les coûts liés à la perturbation de l'activité industrielle et aux pertes de production susceptibles d'être accusées par l'industriel, ni les coûts d'étude de faisabilité)
Suivi des gaz du sol dans les ouvrages en traitement et de la qualité des eaux souterraines dans les ouvrages du site	Zone 1	5m x 5m x 6m prof	150 m <sup>3</sup>	estimé 60%	24 à 36 mois	de 400 à 600 k€ ( soit environ 150 à 200 k€ par zone pour 24 mois)
	Zone 2	(5m x 5m x 6m prof) en 4 points (II13, II14, II15 et II17)	600 m <sup>3</sup>		24 à 36 mois	
	Zone 3	(5m x 5m x 6m prof) en 4 points (III11, III12, III13 et III17)	600 m <sup>3</sup>		24 à 36 mois	
Suivi de la qualité des eaux souterraines dans les ouvrages du site	Zone 1	5m x 5m x 6m prof	150 m <sup>3</sup>	Très aléatoire, dépendant des conditions du milieu, maximum attendu 40%	3 à 5 ans	Sur une base de 36 mois, 320 k€
	Zone 2	(5m x 5m x 6m prof) en 4 points (II13, II14, II15 et II17)	600 m <sup>3</sup>		3 à 5 ans	
	Zone 3	(5m x 5m x 6m prof) en 4 points (III11, III12, III13 et III17)	600 m <sup>3</sup>		3 à 5 ans	

**Hypothèse basse - 2**

Les points d'impact couvrent des plus grand  
seulement dissoute (absence de phase pure)

Nature du traitement	Contraintes et sécurité	Rendement abattement réaliste (Habituellement obtenu sur ce type de traitement)	Durée du traitement	Estimation financière sur la base des hypothèses précédentes et des données connues
Extraction sous vide des COHV des tourbes couplée au pompage/ traitement /stripping des sables A30	<p>Mise en place d'aiguilles d'extraction au col source, cad dans les bâtiments, voies de pa mise à disposition des surfaces pendant 1 r la mise en place des installations. Passa conduites dans les zones en activités pend la durée des travaux. Mobilisation d'un esp les installations d'extraction et de traitem fluides extraits à l'extérieur à proximité im de la zone à traiter.</p> <p>Mise en place d'un puits de pompage di pour collecte de la pollution des sables, s des eaux (volatilisation des COV par un flu sens inverse de la circulation des eaux, tra des gaz sur charbon actif)</p>	estimé 60%	24 à 36 mois	environ 1300 k€
			24 à 36 mois	
			24 à 36 mois	
Biostimulation	<p>Souvent utilisé en traitement de finitio une technique classique. Les conditions sp du site de SAFT montrent que les solvants se dégradent dans des conditions fortemer réductrices produites au sein de la tourbe.</p>	Très aléatoire, dépendant des conditions du milieu, maximum attendu 40%	5 ans	Sur une base de 60 mois, 500 k€
			5 ans	
			5 ans	

**Hypothèse haute**

La contamination a migré en profondeur dans le sous-sol. Dans ce cas, il n'est pas possible à ce stade de réduire le stock, l'impact sur la qualité des eaux hors site ne sera sans doute pas mesurable. Finalement, en raison de des coûts cette solution ne nous semble pas appropriée et nous recommandons dans ce cas un confinement.

Nature du traitement	Contraintes et sécurité	Rendement abatement réaliste (Habituellement tenu sur ce type de traitement)	Durée du traitement	Estimation financière très imprécises
<p><b>Extraction sous vide des COHV des tourbes couplée au pompage/ traitement /stripping des sables</b></p>	<p>Grosses contraintes des installations couvre grande surface du site : nombreux réseaux en place sur tout le site, installations de grandes tailles pour le traitement des eaux de l'aquifère sables</p>	<p>Très aléatoire en présence de phase pure au fond de l'aquifère, stock de phase pure impossible à dimensionner correctement</p>	<p>Impossible à estimer à ce stade</p>	<p>La fourchette de coût pourrait démarrer à 3 M€ jusqu'à plus de 6 M€ en fonction de la quantité de phase pure présente.</p>

**Scénario 2 : Confinement**

Nature du traitement	Contraintes et sécurité	Coût (estimation réaliste obtenue : type de confinement)	Durée du traitement	Estimation financière sur la base des hypothèses précédentes et des données connues
Confinement par dispositif de barrière perméable active (BPR) dans les tourbes et les sables	Débit de passage dans les portes maximum 5 m <sup>3</sup> /j, Possibilité de réaliser une "tranchée" continue sur toute la limite aval du site Nécessité d'ancrage de la barrière sur un substratum imperméable, <b>vers 20 m de profondeur</b>	Compt 2m/s m <sup>3</sup> supé et	sans objet	Sans intérêt, cout prohibitif, et on ne peut pas mettre assez de portes sur la longueur du site
Confinement par pompage actif (mise en place d'une barrière hydraulique en limite aval du site) et traitement des effluents sur colonne de stripping ou par la station de traitement du site celle-ci pouvant traiter les COHV d'après les informations transmises par SAFT	Réalisation d'une barrière hydraulique par pompage dans des puits disposés en aval du site, pour éviter les "fuites de polluants" du site. Solution compatible avec la mise en place d'un confinement par pompage actif sur le puits industriel (cf. ci-après).	Volum dizain 30 La q rendement sera associé un recyc cir	minimum 20 ans	300 à 500 K€ pour environ 10 ans, puis prévoir la réfection de l'ensemble des puits et du dispositif de traitement, le même budget doit être envisagé tous les 10 ans.
Confinement par pompage actif utilisation du puits industriel et traitement des effluents sur le dispositif existant sur le site celui-ci pouvant traiter les COHV d'après les informations transmises par la société SAFT	Réalisation d'un confinement hydraulique par pompage dans le puits industriel existant, pour éviter les "fuites de polluants" du site. Nécessité de faire fonctionner le puits de manière continu à un débit compatible avec les volumes autorisés par arrêté préfectoral, les besoins en eaux industrielles de SAFT et les organes de traitement et stockage temporaire présents sur site. Solution compatible avec la mise en place d'une barrière hydraulique (cf. ci-avant).	Dans foncti pou Nor des c sur da susc des l'aq re		Chiffrage à étudier en fonction des installations du site,  Couts de modifications des systèmes existants, maintenance et dispositif de secours en cas d'arrêt de la pompe
ANS (Atténuation Naturelle Surveillée)	Surveillance de la qualité des eaux souterraines en aval hydraulique et vérification régulière de la compatibilité de la qualité de la nappe avec l'usage des terrains avoisinants et des eaux souterraines	Il fai pilot co dir La néce long l'us l'u pan		Cout de l'étude et argumentation aux autorités 100 k€, cout probable environ 250 à 300 k€ de suivi pour 10 ans

## 8.5 Choix des solutions retenues par SAFT

A l'analyse du tableau bilan coût-avantage, et compte tenu des difficultés d'accès aux sources de pollution suspectées, SAFT souhaite s'engager vers une solution de gestion par désactivation des voies de transfert. La technique qui semble la mieux appropriée, aux regards des enjeux est une solution mixte couplant :

- un **confinement par pompage actif du forage industriel existant**, moyennant une adaptation de son régime d'exploitation,
- un **éventuel confinement complémentaire par barrage hydraulique**, si toutefois, le puits se révélait insuffisant pour confiner les polluants de l'ensemble du site,
- un **suivi de type atténuation naturelle surveillée (ANS)**.

Ces mesures de gestion devront être validées dans le cadre d'une mission future. .

En complément de ces mesures, SAFT a mis en place des procédures internes visant à l'évaluation de la qualité des sols avant tout affouillement afin d'établir les conditions d'intervention et de gestion des terres excavées.

### 8.5.1 Un confinement par pompage du forage industriel existant

Le forage est aujourd'hui exploité à un rythme de 29 m<sup>3</sup>/h en discontinu, les périodes de pompage étant conditionnées aux besoins de l'usine en eaux industrielles. Les eaux pompées sont dirigées en fin de process vers la station d'épuration nommée KROFTA (du nom du fabricant hollandais) avant leur rejet vers la Garonne.

Afin d'optimiser le confinement des eaux impactées par les sources de pollution du site, SAFT mettra en place une exploitation continue du forage (sans période d'arrêt durant les WE, les jours fériés et les jours d'arrêt de l'usine). Cette mesure nécessitera :

- de vérifier le dimensionnement des installations de traitement existants et les adapter si besoin (notamment, il pourra être envisagé la réalisation d'un bac tampon des eaux pompées, si nécessaire) ;
- de mettre en place un dispositif de pompage de secours afin de parer à l'éventualité d'une panne du dispositif de pompage permanent ;
- de contrôler la qualité des eaux prélevées. Ce suivi pourra être associé au contrôle de la qualité des eaux souterraines du site ;
- de définir la géométrie du cône de rabattement généré par le puits industriel et vérifier qu'il intègre (ou non), dans son rayon d'influence, la totalité des zones sources de pollution, en considérant un usage continu (notamment les zones 1 et 2 qui se situent en limite de site, et probablement en limite d'influence du puits industriel). Pour cela des piézomètres complémentaires sur site et hors site complèteraient utilement le réseau actuel et permettrait de cerner la zone d'incidence du forage industriel en période de basses et de hautes eaux.

**L'incidence financière d'une adaptation de l'exploitation du forage actuel pour les besoins du confinement des pollutions du site est de l'ordre de 100 à 150 K€HT.**

### 8.5.2 Un confinement par un barrage hydraulique

Dans l'hypothèse où le cône de rabattement généré par le puits industriel se révélerait insuffisant pour confiner la pollution au site de SAFT, il pourra être mis en place un confinement hydraulique supplémentaire. Les données acquises aujourd'hui ne sont pas suffisantes pour optimiser un tel dispositif aussi, BURGEAP propose une démarche pragmatique consistant en premier lieu, à la réalisation de piézomètres supplémentaires équipés en diamètre suffisamment important pour être, si besoin, transformés en ouvrage complémentaire de confinement.

BURGEAP en concertation avec SAFT, préconise les mesures suivantes :

- réalisation de 3 piézomètres étanches sur les premiers horizons (soit de 0 à 8 m) et crépinés face aux sables et graviers (entre 8 et 19 m), d'un diamètre de 4 pouces minimum (figure P – implantation pouvant être modifiée du fait de l'accessibilité des secteurs),
- nivèlement et campagne analytique dans le cadre du contrôle de la qualité de la nappe étendu à l'ensemble du site SAFT,
- mise en place d'une à trois pompes de confinement supplémentaires (à définir en fonction de l'efficacité du cône de rabattement généré par le puits industriels),
- traitement des eaux pompées vers la station de traitement KROFTA, celle-ci ayant la capacité de traiter les COHV, selon les informations transmises par la société SAFT.

BURGEAP préconise une implantation de 3 piézomètres en **figure P**.

A l'analyse des résultats analytiques réalisés sur ces nouveaux ouvrages, il sera vérifié la pertinence de mener (ou non), des piézomètres ou forages de contrôle supplémentaires et établi une implantation stratégique de ces ouvrages.

La mise en place de ces piézomètres permettra également d'obtenir des informations plus précises sur le flux de polluants migrant vers l'aval du site. Si nécessaire, le pompage dans ces puits contribuera également à la protection des usages de la nappe en aval du site.

**Le coût de cette opération complémentaire est de l'ordre de 60 k€HT (réalisation des 3 forages). Le coût de leur exploitation dépendra du nombre d'ouvrages retenus pour compléter le confinement généré par le forage industriel.**

### 8.5.3 Atténuation naturelle surveillée

L'objectif d'une telle mesure de gestion est de vérifier que les phénomènes naturels de biodégradation sont bien mis en place.

BURGEAP préconise pour y répondre, un suivi de la qualité des eaux de la nappe de Hautes et Basses Eaux sur une période minimum de 4 ans (soit 8 campagnes au total). Les analyses qui devront être menées sur l'ensemble des ouvrages du site, porteront sur le programme suivant :

- Pack A : OHV et COV (dont 19 composés OHV et BTEX) ;
- Pack B : anions (chlorures, nitrates, sulfates) ;
- Pack C : produits finaux (méthane, éthène et éthane) ;
- Pack D : Carbone (Carbone Organique dissous non purgeable) ;
- Pack E : analyses in-situ (Niveau de la nappe, Température, pH, conductivité, Redox et O<sub>2</sub>) + Fe<sup>2+</sup> et alcalinité.

Si le constat de biodégradation naturelle est confirmé, le suivi fera l'objet d'un bilan quadriennal qui permettra si nécessaire, d'adapter le programme analytique retenu.

**Le coût d'un tel suivi (établi sur 4 ans) et du bilan quadriennal associé est de l'ordre de : 90 K€ (à adapter en fonction du nombre de piézomètres retenus).**

## 9 Conclusions

SAFT, spécialiste mondial de la conception et de la production de batteries de haute technologie pour l'industrie possède un site sur Bordeaux (Gironde 33), dont la superficie avoisine 8 ha.

Des études environnementales menées de 1999 à 2007 sur la qualité du sous-sol ont montré des anomalies en solvants chlorés (composés organo-chlorés aliphatiques ou COHV) tant sur les sols que sur les eaux de la nappe. Cette contamination est historique, les composés primaires à l'origine de la contamination n'étant plus utilisés sur le site.

Dans le cadre de l'arrêté préfectoral (A.P.) du 24 avril 2007, et dans la continuité des études environnementales antérieures menées au droit de son site, SAFT a confié à BURGEAP la réalisation d'une étude visant à identifier les mesures de gestion de dépollution à mettre en place sur le site de SAFT.

Pour compléter la connaissance de l'état des milieux au droit du site de SAFT, BURGEAP a mené un diagnostic complémentaire comprenant :

- la réalisation de campagnes de caractérisation de la qualité des eaux souterraines à partir du réseau de 5 piézomètres existants ;
- puis de 21 sondages carottés sous gaine associés à des mesures de PID de terrain (semi-quantification des concentrations en COV) ;
- 40 analyses de concentrations en COHV dans les sols ;
- 15 analyses des COHV dans l'eau interstitielle prélevée en 3 points à 5 profondeur différentes.

De l'ensemble des résultats obtenus, il convient de retenir les faits suivants :

- la présence de phase organique a été mise en évidence à l'aplomb de 8 sondages au droit de secteurs du site de SAFT (zones 2 et 3), dans les alluvions argilo-tourbeuses présentes à moins de 7m de profondeur. La densité des sondages réalisés, la présence de bâtiments occupés par des bureaux ou des ateliers et la complexité de la géométrie des dépôts alluvionnaires argilo-tourbeux n'ont pas permis de préciser l'étendue des zones sources identifiées par l'étude historique ;
- les investigations ont également ciblé l'évaluation de l'extension verticale des zones sources et des panaches de pollution associés. Celle-ci a été estimée à un maximum de 18 mètres (les marnes constituant le substratum). Si la présence de phase organique au toit des marnes est possible en amont hydraulique du piézomètre P1, Les données recueillies n'ont montré aucune zone source au sein des alluvions sablo-graveleuses et au toit des marnes au droit des 3 zones considérées ;
- les zones sources concernent essentiellement la zone saturée au sein des alluvions argilo-tourbeuses, le niveau piézométrique de la nappe s'établissant à 2 m environ sous la surface du sol ;
- au sein des zones sources principalement situées dans les alluvions argilo-tourbeuses, une hétérogénéité verticale des concentrations en COHV est mise en évidence, celles-ci dépendant notamment de la charge en tourbes (soit en matière organique) des horizons argileux. Une hétérogénéité horizontale des concentrations existe également, les horizons tourbeux ne constituant pas des niveaux continus ;
- l'eau souterraine qui circule dans les alluvions argilo-tourbeuses ou sablo-graveleuses se charge en composés chlorés en solution, avant de migrer, hors influence du pompage industriel, vers le Nord-Ouest en direction du Lac. Le pompage industriel intercepte ce panache mais ce pompage étant actuellement intermittent, on ne peut conclure que le flux de polluants soit capté en totalité. Aisni, il est intéressant de noter que la qualité des eaux du pompage industriel reflète la qualité des eaux susceptibles de migrer vers le Nord: des produits de dégradation des composés chlorés sont susceptibles de migrer hors site en aval hydraulique du site, en régime non influencé par le puits industriel ;
- l'aquifère des alluvions argilo-tourbeuses constitue un milieu favorable à la biodégradation anaérobie des COHV ;

Une enquête de terrain menée hors site par BURGEAP en avril 2010, a permis de caractériser les usages de l'eau et l'occupation dans l'environnement proche du site de SAFT. Il en ressort :

- un usage par des particuliers (ou des collectivités) des eaux souterraines captées, dans l'environnement proche de SAFT, tant dans la nappe des remblais et/ou des argiles sableuses que dans la nappe des sables et graviers. Cet usage concerne essentiellement l'arrosage de jardins. Cependant, les éléments de l'enquête révèlent que les puits recensés se situent davantage en latéral hydraulique. Une campagne de prélèvements et analyses des eaux souterraines captées par un puits maçonné de 3 m de profondeur, situé rue Durin, montre la non détection de COHV et BTEX. La pollution du site SAFT n'a donc pas d'impact significatif sur la qualité des eaux souterraines captées par ce puits et utilisées pour l'arrosage du potager.
- la présence de structures sensibles (écoles, jardins familiaux,...) en aval du site.

En conséquence, SAFT doit considérer ces usages sensibles dans le choix des mesures de gestion qui devront être mises en place.

Aussi, à l'analyse d'un tableau bilan coût / avantage établi tant pour supprimer les sources que pour désactiver les voies de transfert et compte tenu des difficultés d'accès aux zones de pollution suspectées, SAFT s'engage à mettre en place une gestion de la pollution par un maintien des conditions favorables à la dégradation des composés organochlorés dans les alluvions argilo-tourbeuses associé une désactivation des voies de transfert. La technique la mieux appropriée, aux regards des enjeux est une solution mixte couplant :

- un confinement par pompage actif du forage industriel existant, moyennant une adaptation de son régime d'exploitation.
- un éventuel confinement complémentaire par barrage hydraulique, si toutefois, le puits se révélait insuffisant pour confiner les polluants de l'ensemble du site.
- une atténuation naturelle surveillée (ANS).

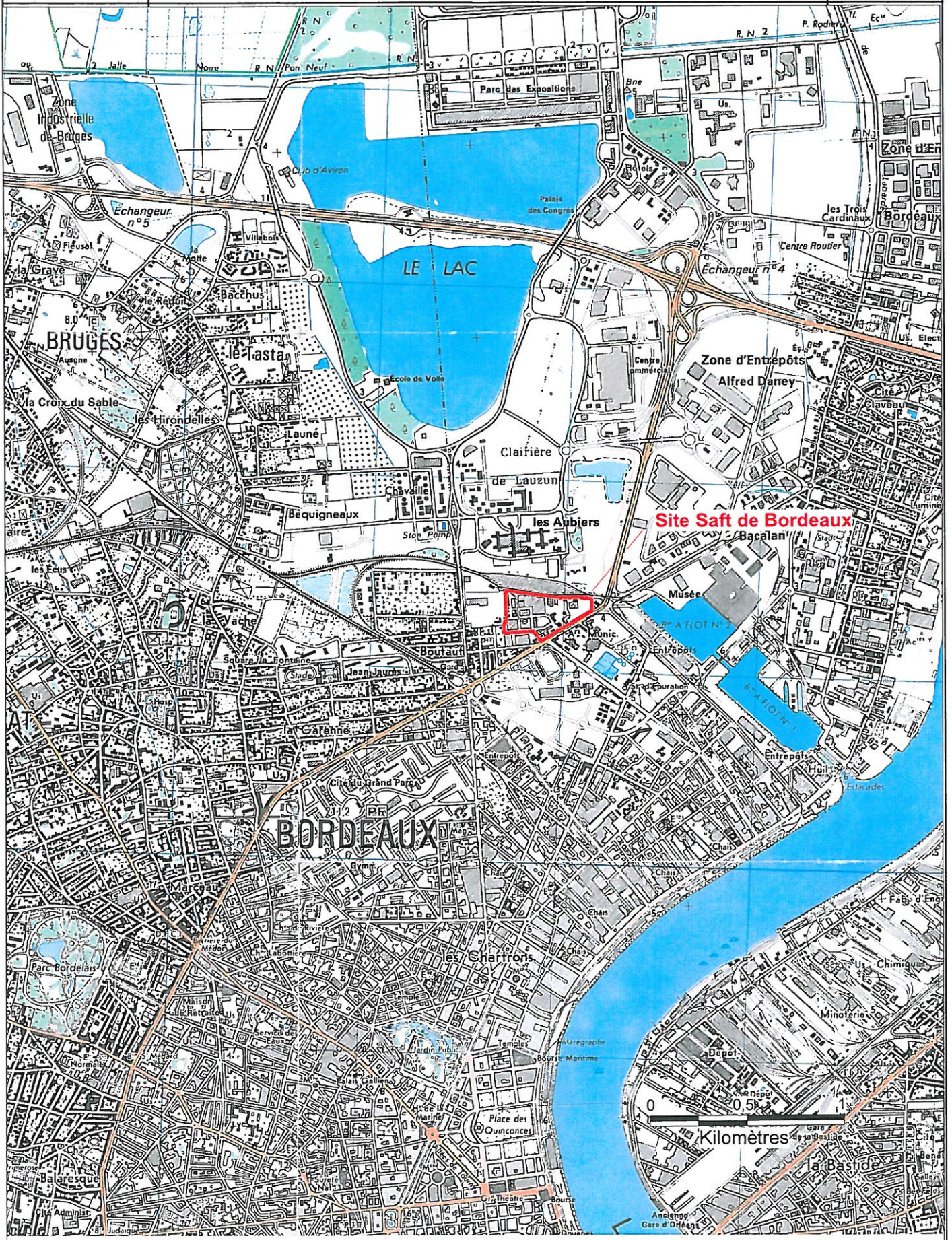
Pour optimiser le dimensionnement des mesures de gestion qui seront définitivement retenues, BURGEAP recommande de mener, à ce stade, les investigations suivantes :

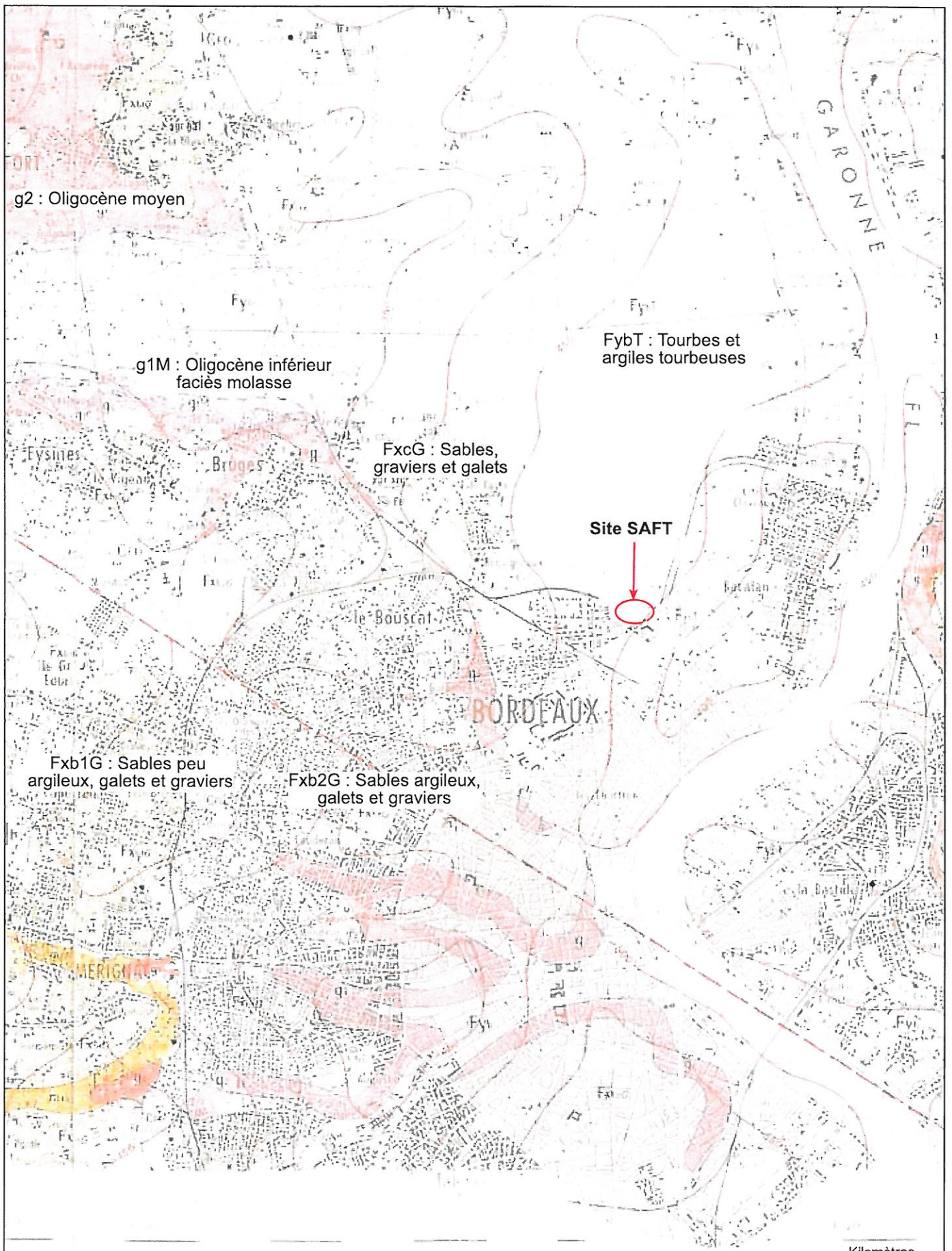
- a minima 3 piézomètres ancrés dans les marnes et étanches face aux argiles tourbeuses,
- établir un contrôle des eaux souterraines à l'échelle de l'ensemble des piézomètres et forage du site.


# FIGURES

RBx840/A18790/CBxZ081164	
LC – NMO – ANB	
30/08/2010	Figures

**LOCALISATION DU SITE SUR UN EXTRAIT DE LA CARTE IGN 1/25000 DE BORDEAUX**





 Bât 51 rue des Terres Neuves 33130 Bègles Tél : 0556493822 Fax : 0556498969	<b>Contexte géologique</b> <b>et situation du site sur la carte géologique au 1/50000 de Bordeaux (33)</b>	<b>Figure B</b>
	<b>SAFT</b>	
	<b>Diagnostic complémentaire et bilan coûts-avantages - BORDEAUX (33)</b>	
		<b>RBx 840</b> <b>CBxZ081164</b>

SAFT

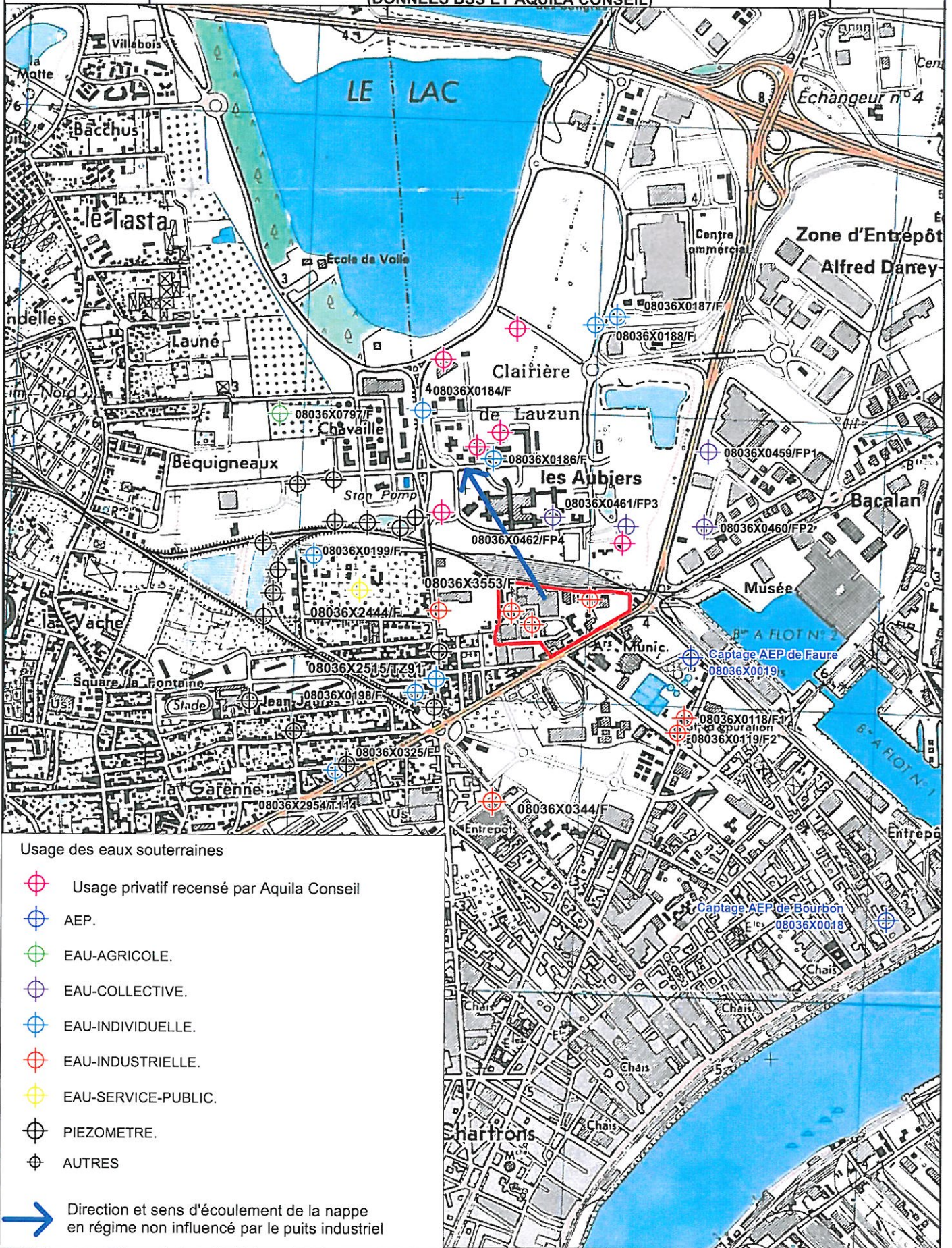
Diagnostic complémentaire et établissement d'un bilan coût-avantages  
BORDEAUX (33)

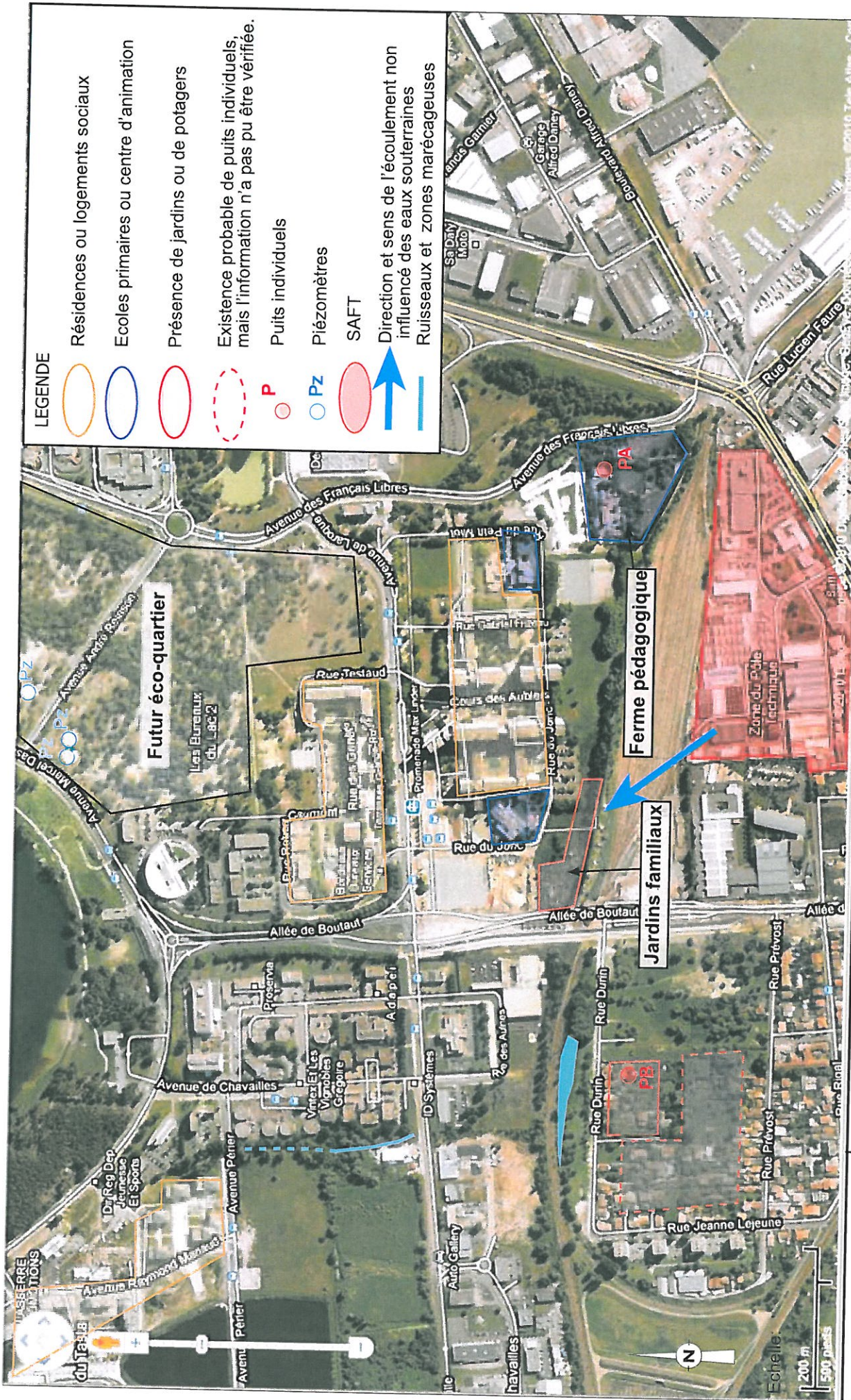
Fig. C


R. Bx840  
C.BxZ081164

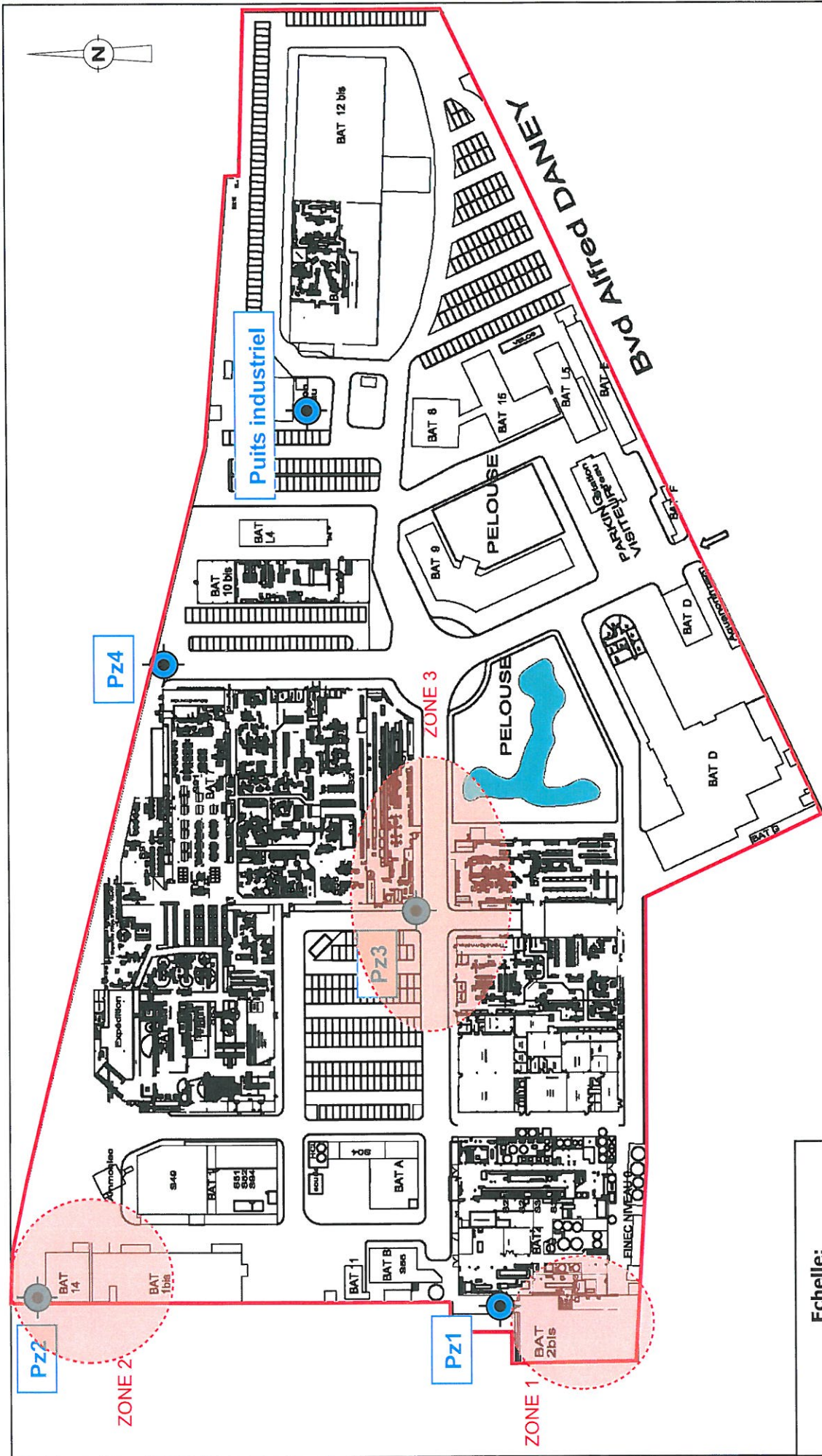


USAGE DES EAUX SOUTERRAINES A PROXIMITE DU SITE SAFT  
(DONNEES BSS ET AQUILA CONSEIL)



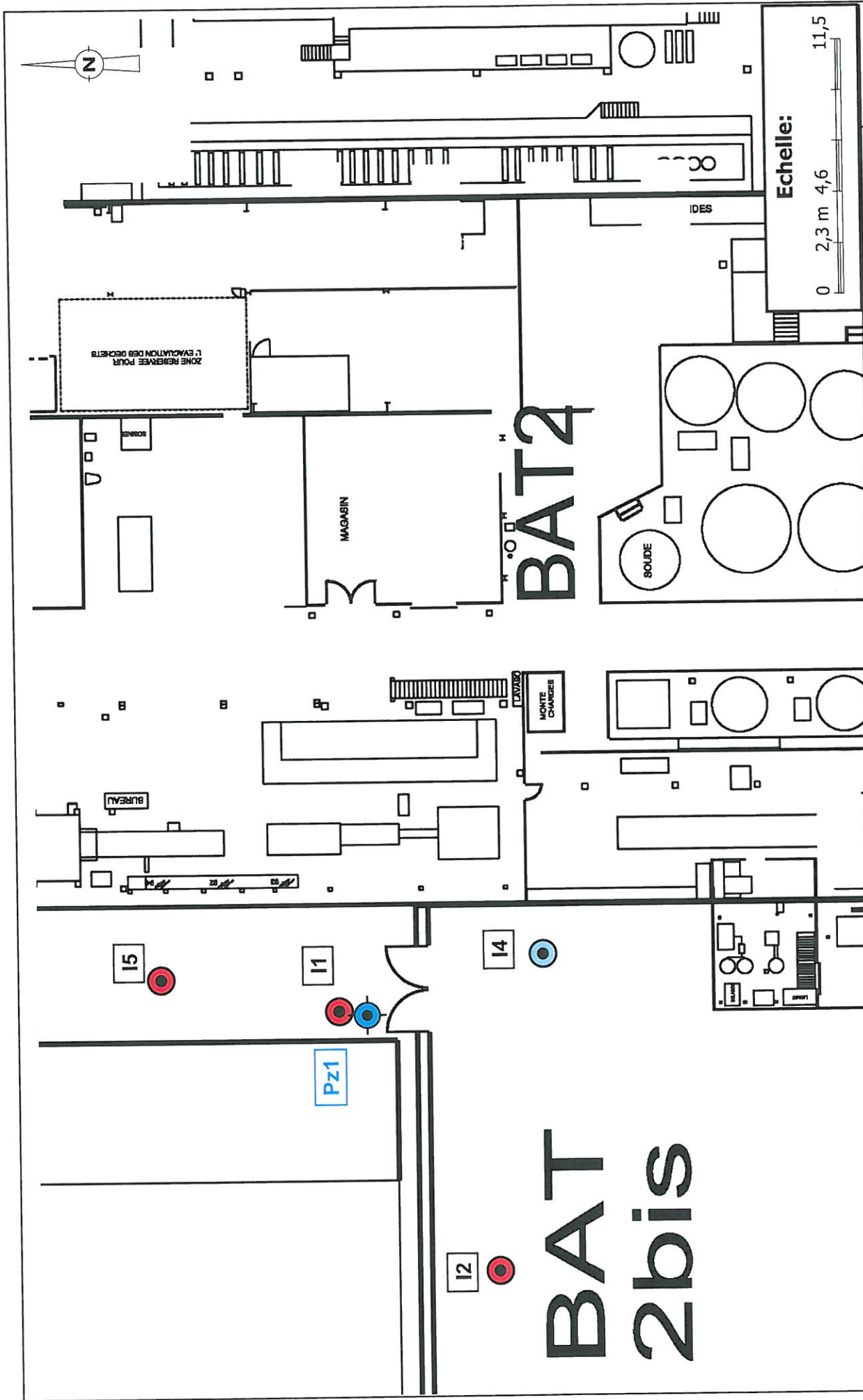


 <p>Bât 51, rue des Terres Neuves          33130 BEGLES          Tel : 05.56.49.38.22          Fax : 05.56.49.89.69</p>	<p><b>Figure D</b></p> <p><b>RBx840</b></p> <p><b>CBXZ.081164</b></p>
--	---






**Echelle:**  
 0 19 m 38 95 m

 Bât 51 rue des Terres Neuves 33130 BEGLES Tel : 05.56.49.38.22 Fax : 05.56.49.89.69	<b>SAFT</b> <b>Diagnostic complémentaire et bilan coûts-avantages</b> <b>BORDEAUX (33)</b>		<b>Figure E</b> <b>RBx.840</b> <b>CBXZ081164</b>
	<b>Plan de masse du site et implantation des piézomètres</b>		
<b>LEGENDE</b> Piézomètres ou puits industriels Délimitation approximative des zones investiguées Limite de site			



**Figure F**  
**RBx.840**  
**CBxZ081164**

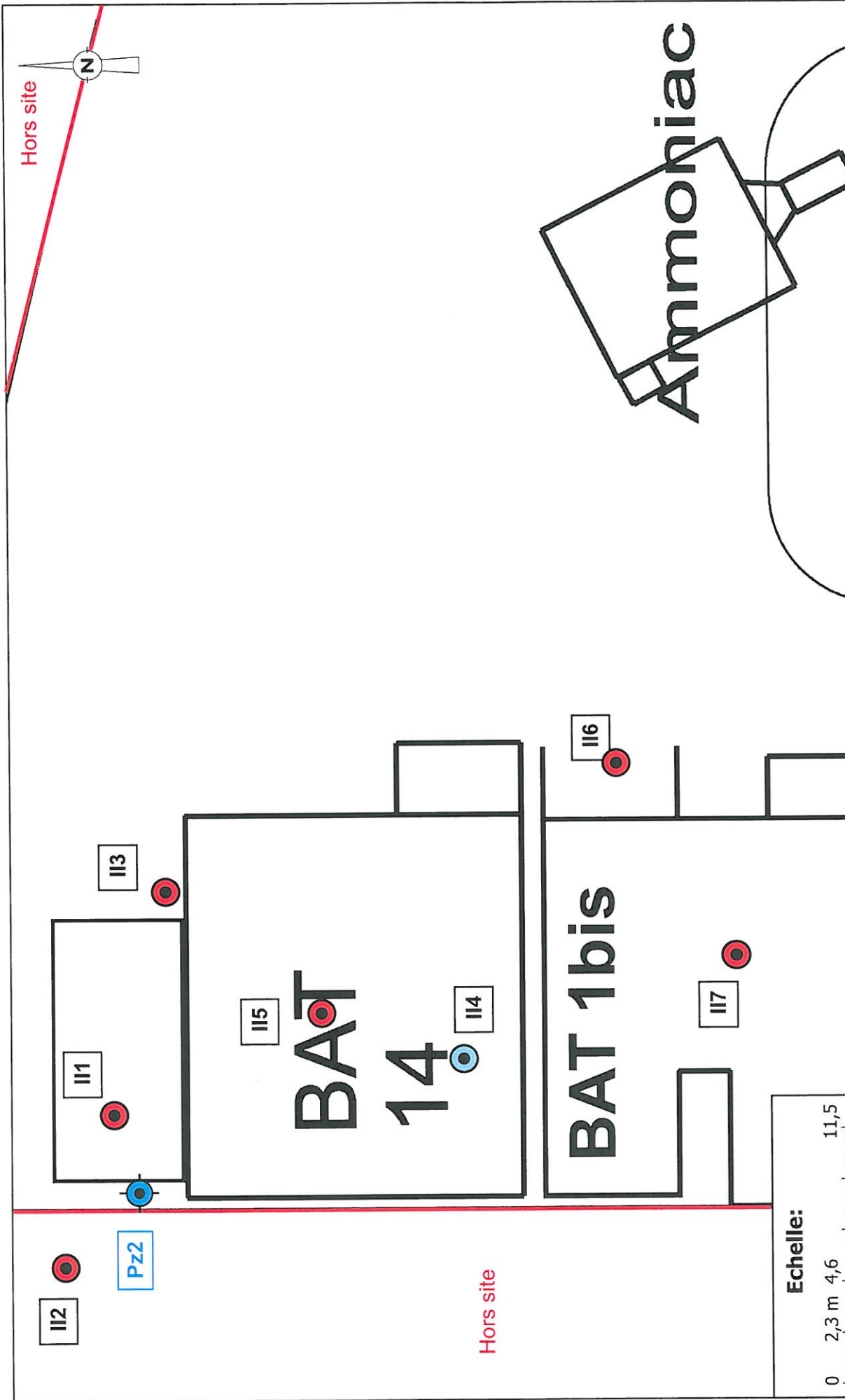
**LEGENDE**

-  Sondages sols
-  Sondages sols avec prélèvement d'eaux interstitielles
-  Piézomètre

**SAFT**  
**Diagnostic complémentaire et bain coûts-avantages**  
**BORDEAUX (33)**

**Implantation des investigations réalisées au droit de la zone 1**

**BURGEAP™**  
 Bât 51,  
 rue des Terres Neuves  
 33130 BEGLES  
 Tel : 05.56.49.38.22  
 Fax : 05.56.49.89.69



**BURGEAP™**  
 Bât 51  
 rue des Terres Neuves  
 33130 BEGLES  
 Tel : 05.56.49.38.22  
 Fax : 05.56.49.89.69

**SAFT**  
 Diagnostic complémentaire et bilan coûts-avantages  
 BORDEAUX (33)

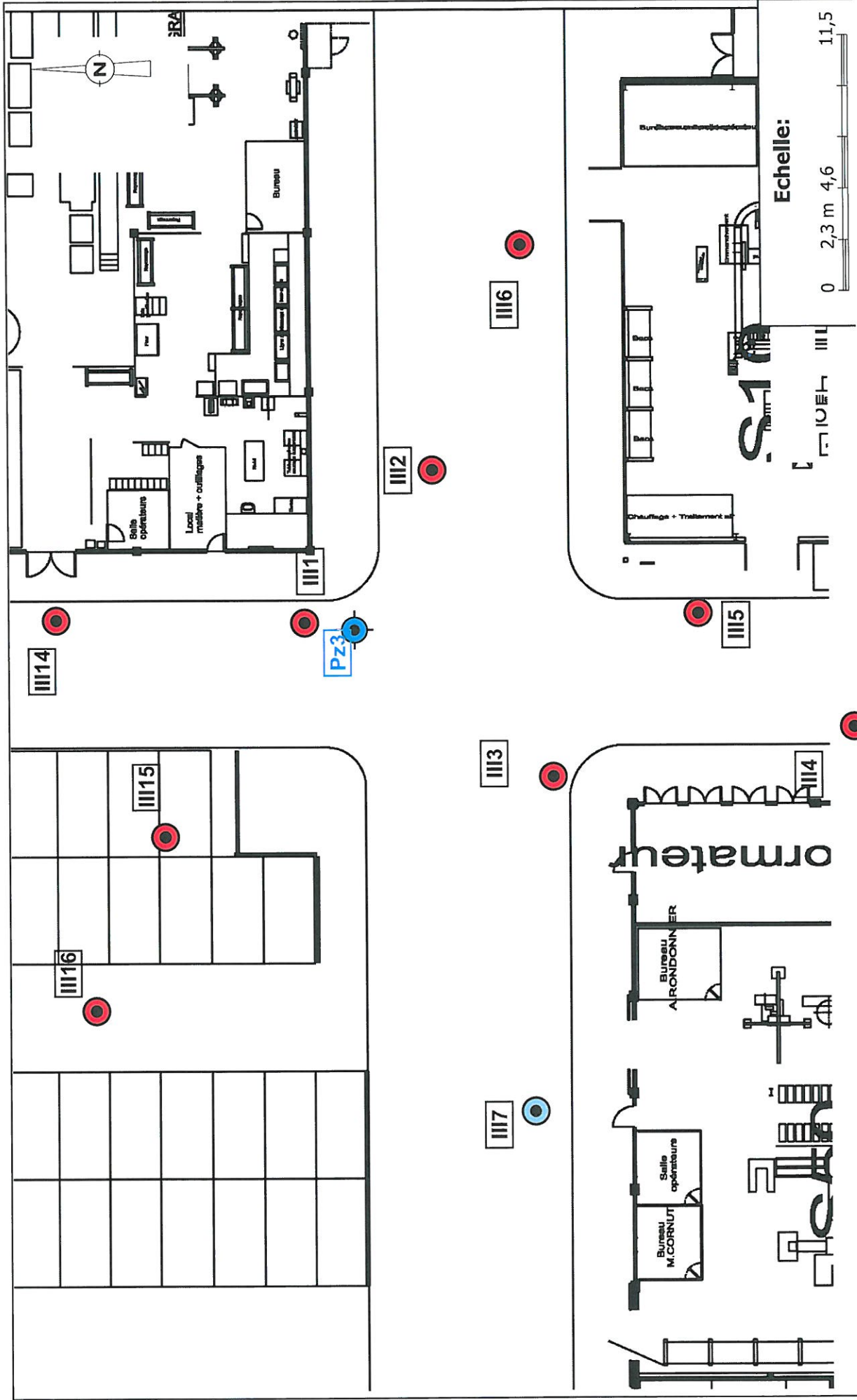
Implantation des investigations réalisées au droit  
 de la zone 2

**LEGENDE**

- Sondages sols
- Piézomètre
- Sondages sols avec prélèvement d'eaux interstitielles

**Figure G**

**RBx.840**  
**CBxZ081164**

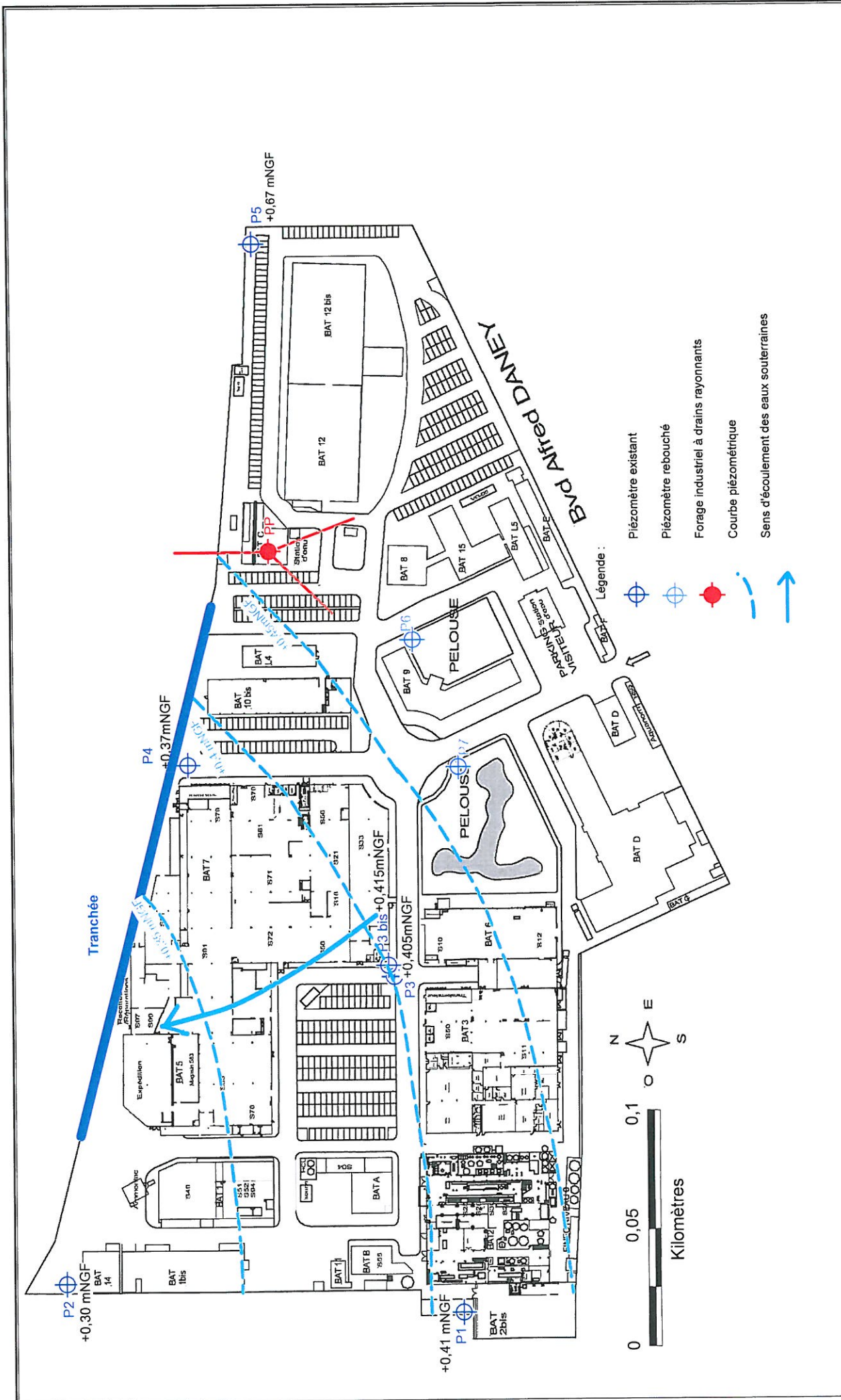


<p>Bât. 51 rue des Terres Neuves 33130 BEGLES Tel : 05.56.49.38.22 Fax : 05.56.49.89.69</p>	<p><b>SAFT</b> Diagnostic complémentaire et bilan coûts-avantages BORDEAUX (33)</p>		<p>Figure H</p>
	<p>Implantation des investigations réalisées au droit de la zone 3</p>		<p>RBX.840 CBXZ081164</p>

- LEGENDE
- Sondages sols
  - Piézomètre
- Sondages sols avec prélèvement d'eaux interstitielles

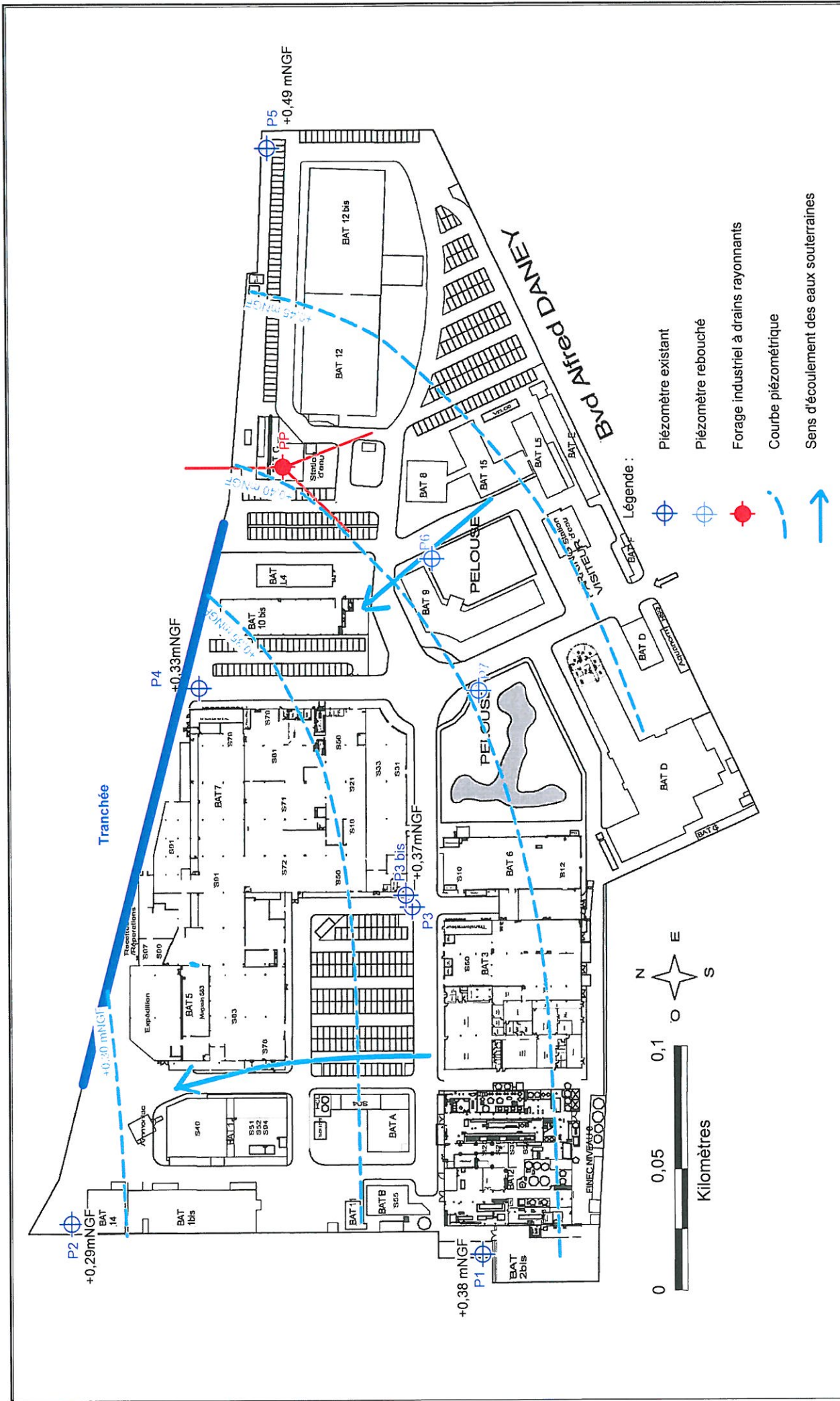
Echelle:





SAFT  
Diagnostic complémentaire - BORDEAUX (33)  
ESQUISSE PIEZOMETRIQUE ETABLIE A PARTIR DES MESURES DU 11/07/2007 DE BURGEAP  
EN PERIODE D'ARRET DU FORAGE ET EN PERIODE DE PLEINE MER

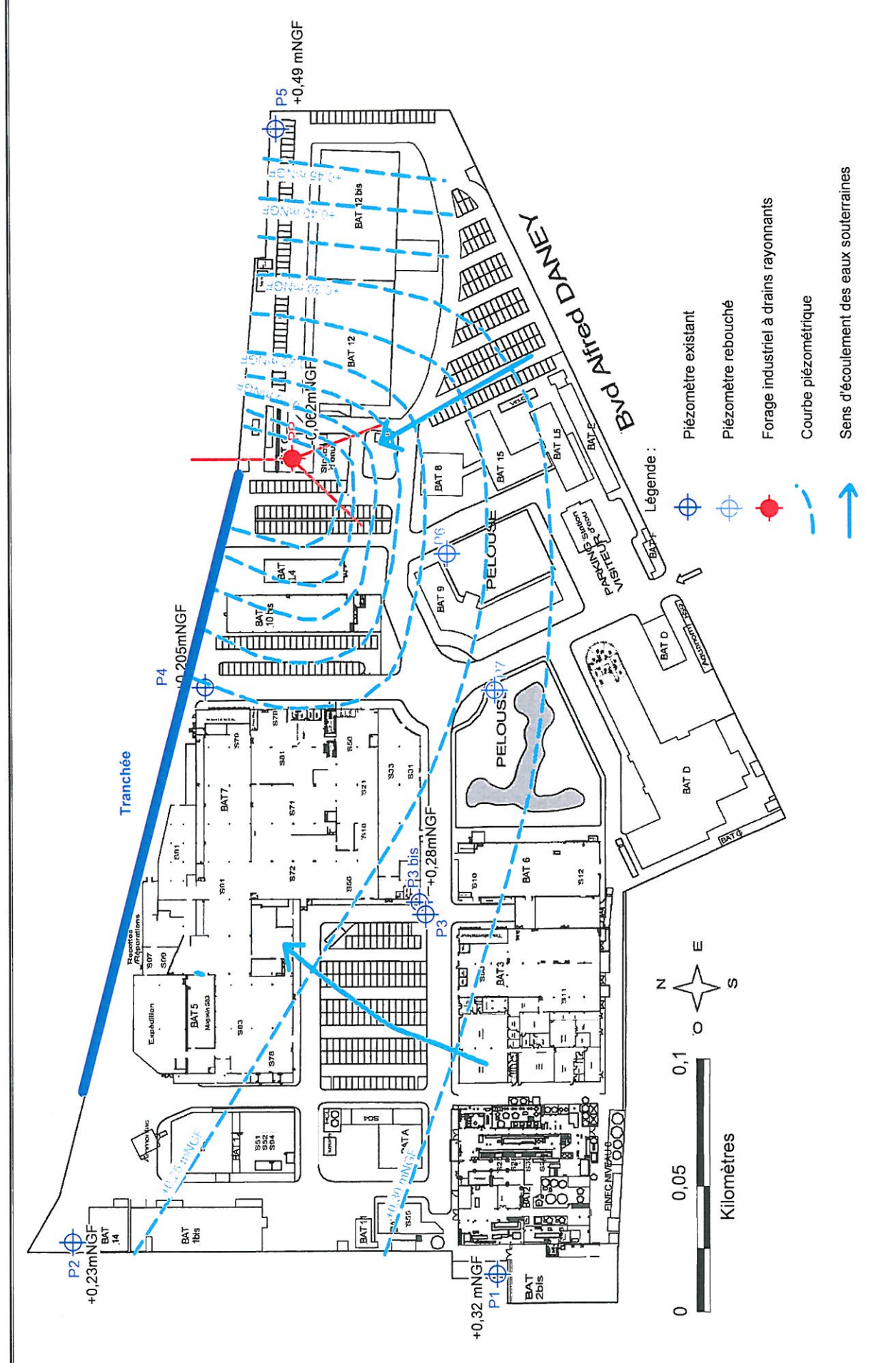




SAFT  
Diagnostic complémentaire- BORDEAUX (33)

ESQUISSE PIEZOMETRIQUE ETABLIE A PARTIR DES MESURES DU 12/07/2007 DE BURGEAP  
EN PERIODE D'ARRÊT DU FORAGE ET EN PERIODE DE PLEINE MER



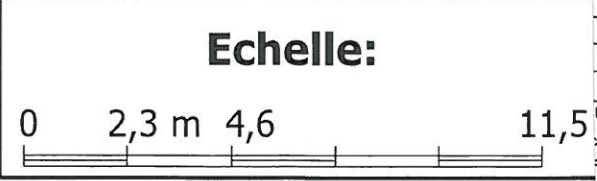
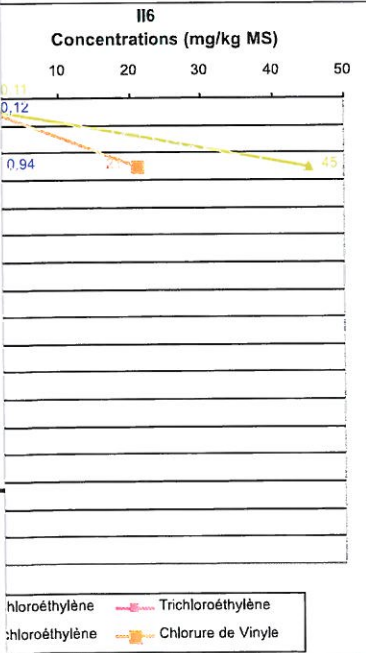
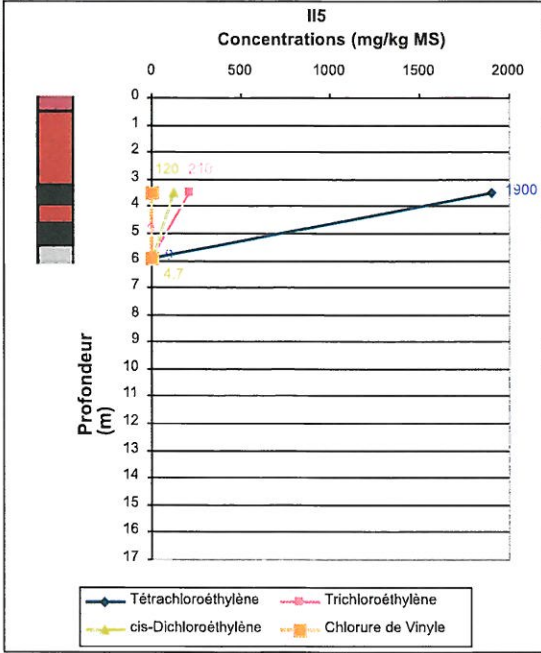
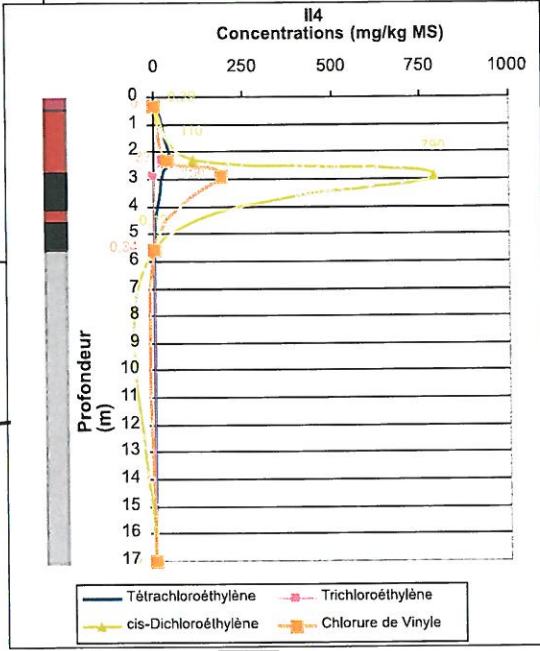
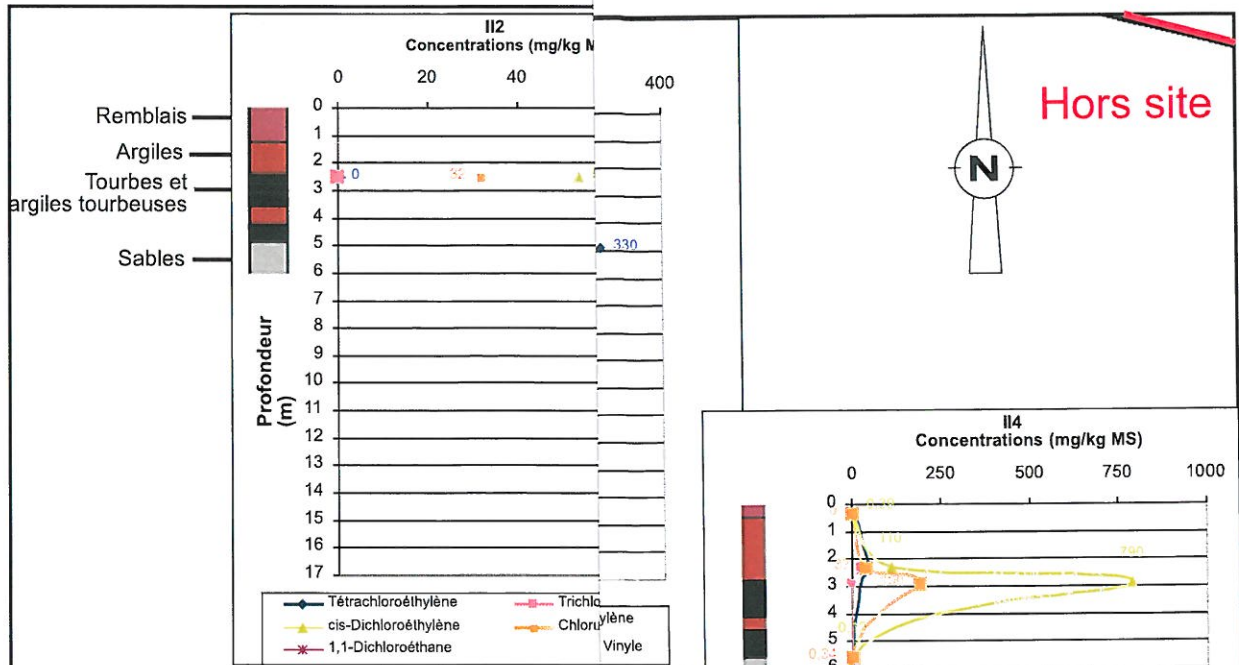


SAFT  
Diagnostic complémentaire- BORDEAUX (33)

ESQUISSE PIEZOMETRIQUE ETABLIE A PARTIR DES MESURES DU 20/07/2007 DE BURGEAP EN PERIODE DE FONCTIONNEMENT DU FORAGE ET EN PERIODE DE PLEINE MER



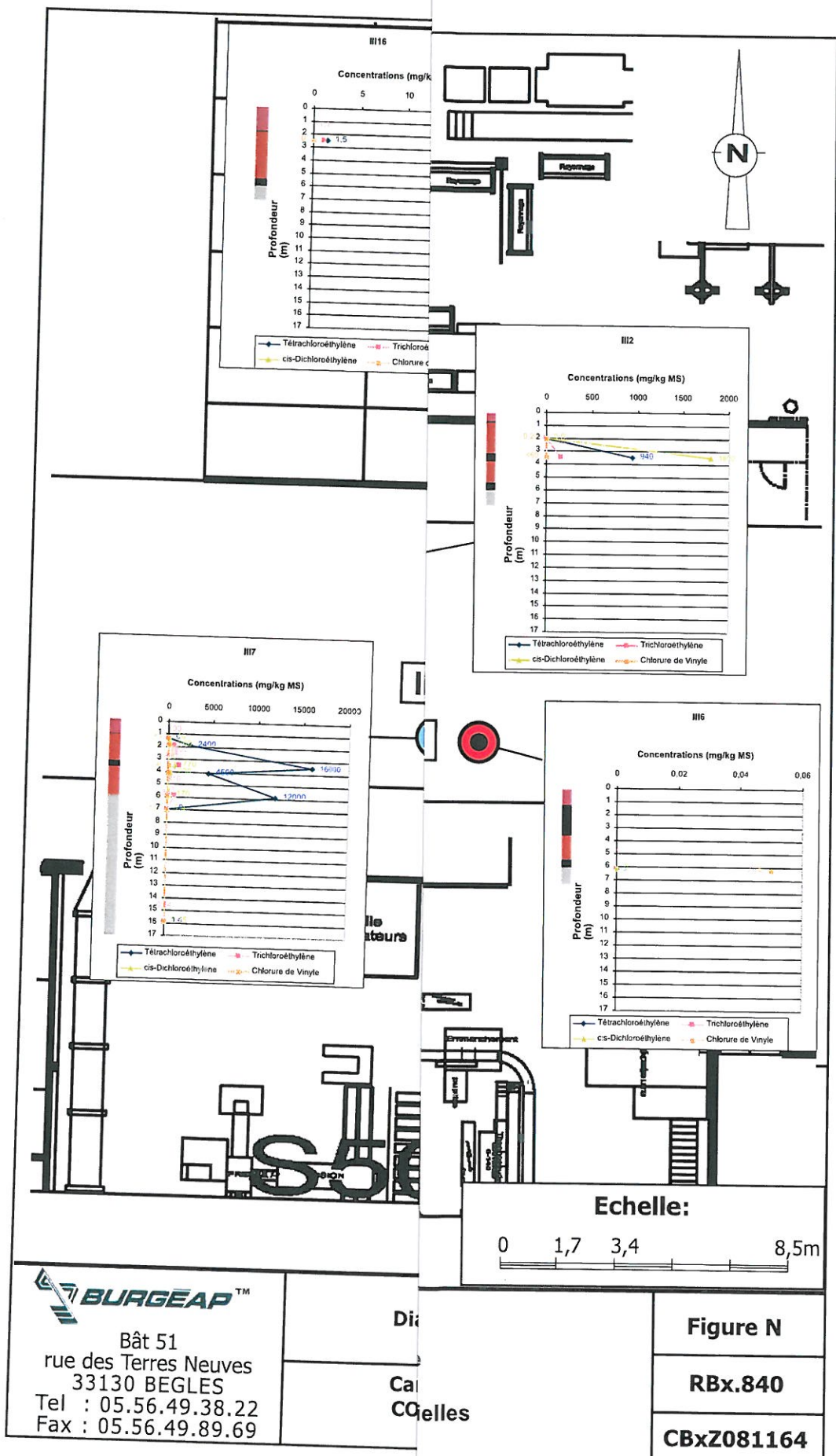


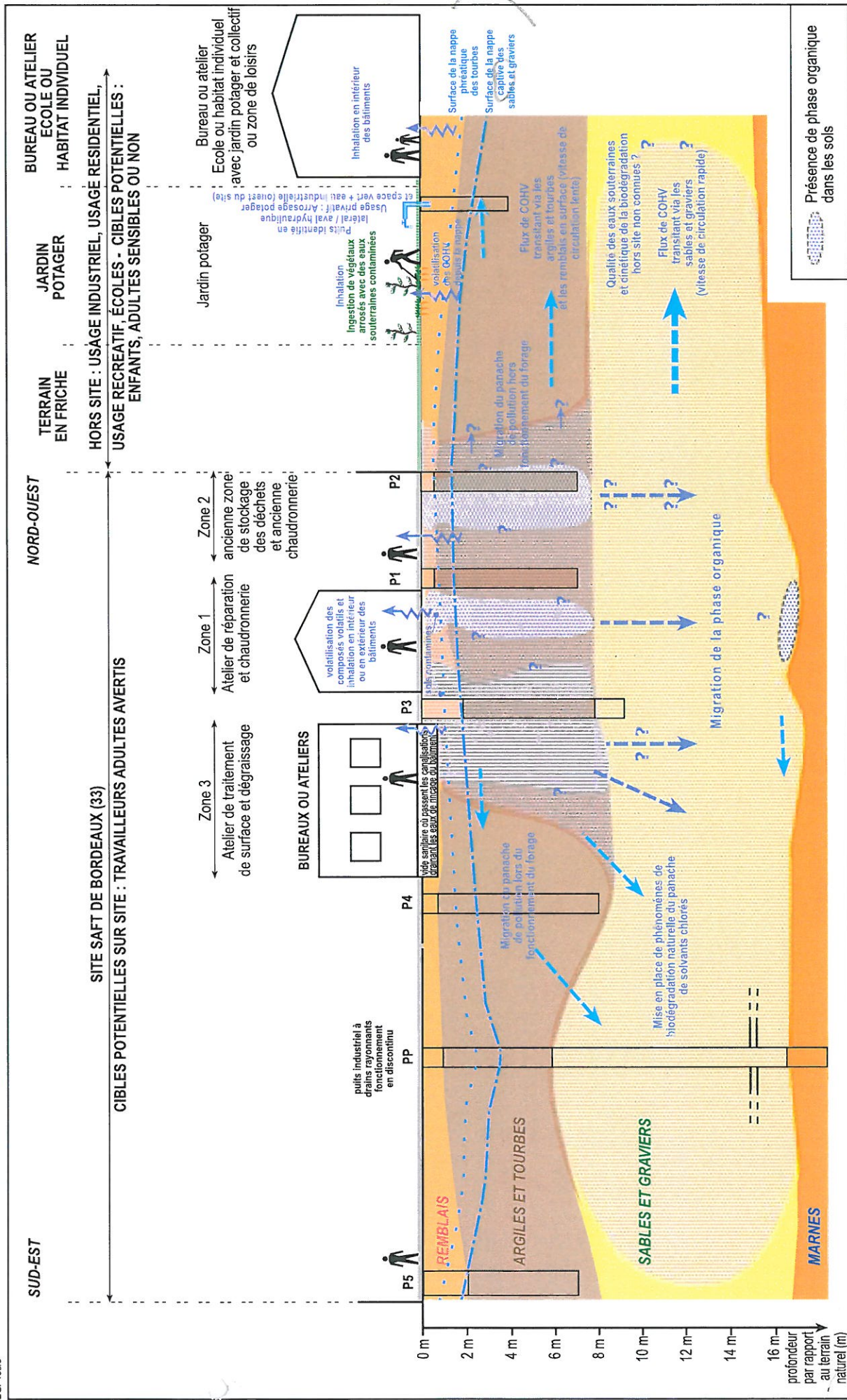


**BURGEAP™**  
Bât 51  
rue des Terres Neuves  
33130 BEGLES  
Tel : 05.56.49.38.22  
Fax : 05.56.49.89.69

**Diagnostic**  
**Cartographie**  
 **eaux interstitielles**

**FigureM**  
**RBx.840**  
**CBxZ081164**





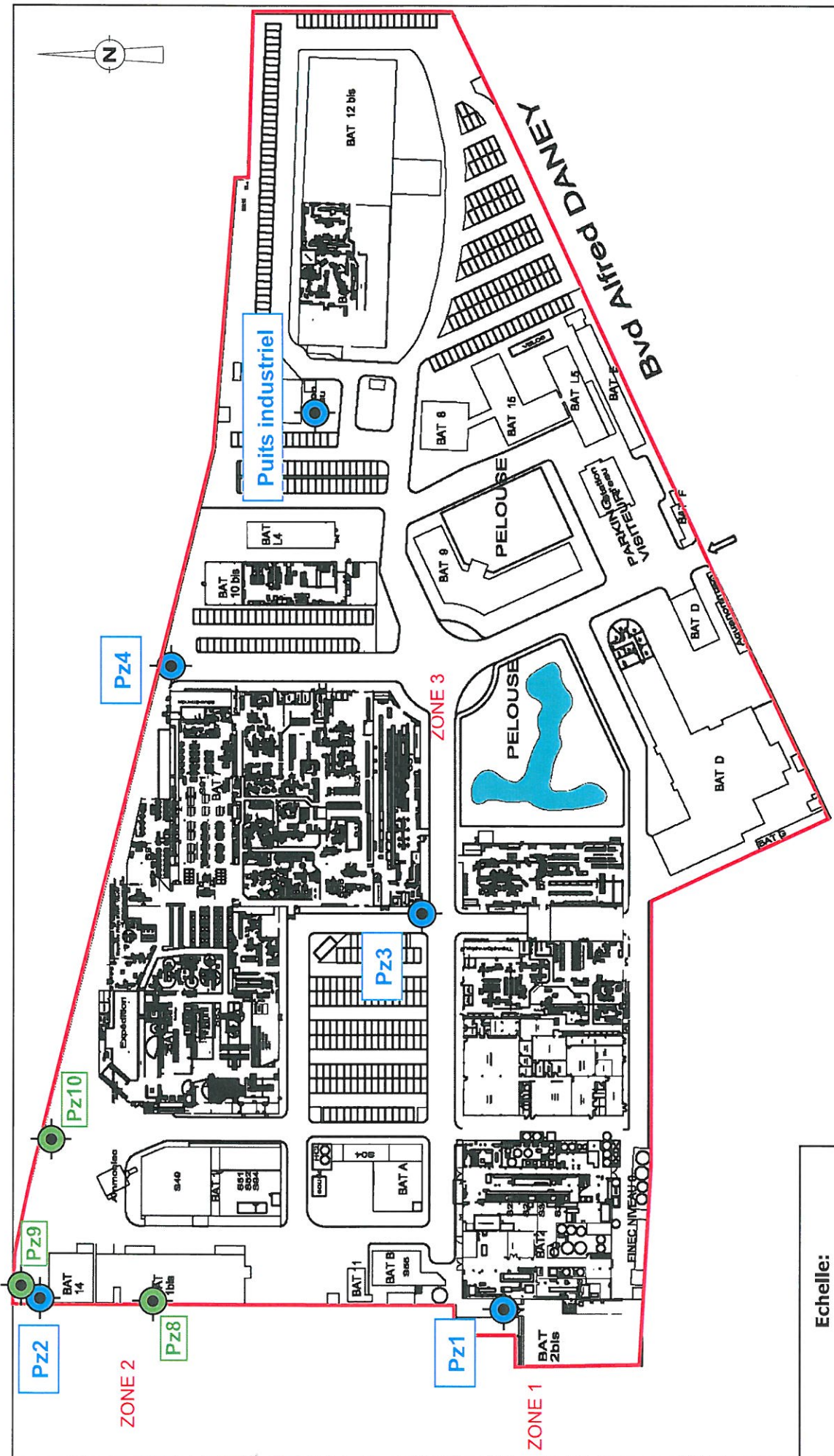
**Fig. 0**

RBX840  
CBXZ081164

**SAFT / DIAGNOSTIC COMPLEMENTAIRE DE L'ETAT DE CONTAMINATION PAR LES COHV ET ETABLISSEMENT D'UN BILAN COUTS-AVANTAGE**

**SCHEMA CONCEPTUEL**

**BURGEAP™**



<p>Bât 51 rue des Terres Neuves 33130 BEGLES Tel : 05.56.49.38.22 Fax : 05.56.49.89.69</p>	<p><b>SAFT</b> Diagnostic complémentaire et bilan coûts-avantages <b>BORDEAUX (33)</b></p>		<p><b>Figure P</b> RBx.840 CBXZ081164</p>
	<p><b>Implantation proposée des piézomètres complémentaires</b></p>		<p><b>LEGENDE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Proposition d'implantation de piézomètres complémentaires</li> <li> Limite de site</li> <li> Piézomètres ou puits industriel</li> </ul>