



HAL
open science

Gestion d'études environnementales dans le domaine des sites et sols pollués : diagnostic de sol de stations-service

Thomas Lux

► **To cite this version:**

Thomas Lux. Gestion d'études environnementales dans le domaine des sites et sols pollués : diagnostic de sol de stations-service. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2015. dumas-03561633

HAL Id: dumas-03561633

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03561633>

Submitted on 8 Feb 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



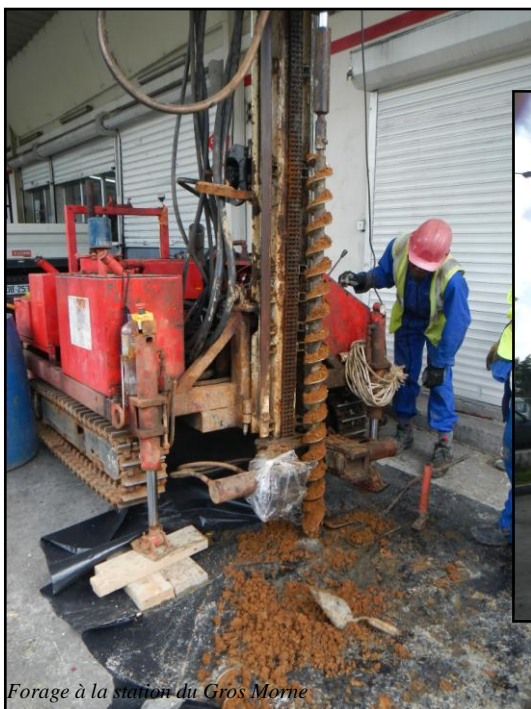
Rapport du travail de fin d'étude
Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur ENGEES / EOOST / Uds
Spécialité – Ingénierie et Géosciences pour l'Environnement

16 février 2015 – 14 août 2015 (6 mois)

Auteur : Thomas LUX

Formation d'ingénieur 2012/2015
Promotion Manche

Gestion d'études environnementales
dans le domaine des sites et sols pollués
Diagnostic de sol de stations-service
(Rapport confidentiel)



Forage à la station du Gros Morne



Station de Schoelcher

Organisme d'accueil : **Antea Group – Agence Antilles Guyane**
n°98 bâtiment MAIA, résidence les Pléiades,
avenue Plateau FOFO,
97233 SCHOELCHER

Maître de stage : **M. Vincent MALHERBE**

Directeur d'agence : **M. Fabien PABIOT**

Enseignant tuteur : **M. Sylvain PAYRAUDEAU**

Remerciements

Je remercie Fabien PABIOT, directeur de l'agence Antilles Guyane, et Vincent MALHERBE, mon maître de stage, de m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'étude à Antea Group, dans l'implantation de Martinique.

Merci à Vincent pour m'avoir fait confiance, pour son encadrement et pour avoir été à l'écoute. Je le remercie également pour m'avoir partagé son expérience et aidé pour mes différents rapports.

Je remercie également Benoit avec qui j'ai travaillé une grande partie de mon stage. Je le remercie pour m'avoir transmis une partie de son savoir faire au bureau et sur le terrain.

Merci à Mikael et à Stéphane pour les échanges et les bons moments passés dans notre bureau. Je les remercie aussi pour m'avoir partagé leurs connaissances du terrain et de la maîtrise d'œuvre.

Merci à Marie et à Suzie pour leur bonne humeur quotidienne et leur disponibilité.

Merci à Robin mon co-stagiaire pour les bons moments passés au bureau et sur les routes de la Martinique.

De manière générale, merci à tous mes collègues pour leur accueil chaleureux, leur dynamisme, leurs conseils et leur disponibilité. Merci pour la très bonne ambiance au bureau et en dehors des heures de travail.

Sommaire

1) Introduction	6
2) Présentation de l'entreprise	7
3) Missions de diagnostics sur les stations-service.....	8
3.1) Méthodes utilisées	8
3.1.1) Plans d'échantillonnage.....	8
3.1.2) Prélèvements	9
3.1.3) Analyse des polluants	10
3.1.4) Traitement des contaminants.....	10
3.2) Stations-service étudiées	11
3.2.1) Station du Gros Morne	11
3.2.2) Station de Schoelcher	12
3.2.3) Station de Gourbeyre.....	13
3.2.4) Synthèse des problématiques.....	14
3.3) Résultats et interprétation	14
3.3.1) Géologie et hydrogéologie rencontrées au droit des sites	14
3.3.2) Résultats analytiques	16
4) Analyse des missions et perspectives	21
4.1) Limites des investigations	21
4.1.1) Implantations des sondages	21
4.1.2) Réalisation des sondages	24
4.1.3) Analyses en laboratoire	24
4.2) Schémas conceptuels et plans de gestion	25
4.2.1) Réalisation d'un schéma conceptuel	25
4.2.2) Choix entre IEM et Plan de gestion.....	25
4.2.3) Analyse du diagnostic du Gros Morne	25
4.2.4) Analyses du diagnostic de Schoelcher	28
4.2.5) Analyses du diagnostic de Gourbeyre	32
4.2.6) Synthèse des plans de gestion.....	36
5) Conclusion générale	36
Bibliographie.....	37
ANNEXES	39

Table des figures

Figure 1 : Localisation de Schoelcher	7
Figure 2 : Localisation des 3 stations-service.....	11
Figure 3 : Localisation des sondages réalisés au Gros Morne.....	12
Figure 4 : Localisation des sondages réalisés à Schoelcher	13
Figure 5 : Localisation des sondages réalisés à Gourbeyre	13
Figure 6 : Coupe géologique au droit du site du Gros Morne	14
Figure 7 : Identification de terrain des hydrocarbures et huiles pour P7-0,5m (Gourbeyre).....	16
Figure 8 : Détail des résultats des hydrocarbures par fractions pour Sd7	19
Figure 9 : Proposition complémentaire pour les implantations du Gros Morne.....	21
Figure 10 : Localisation des sondages supplémentaires	22
Figure 11 : Proposition complémentaire pour les implantations de Schoelcher	23
Figure 12 : Proposition de sondages complémentaires pour les implantations de Gourbeyre	23
Figure 13 : Schéma conceptuel du Gros Morne selon la coupe AA'	26
Figure 14 : Schéma conceptuel de Schoelcher selon la coupe AA'	29
Figure 15 : Principe de l'excavation sur le site de Schoelcher	31
Figure 16 : Schéma conceptuel de Gourbeyre selon la coupe AA'	33
Figure 17 : Zone à traiter sur le site de Gourbeyre.....	35

Table des tableaux

Tableau 1 : Seuils d'acceptation des déchets inertes (Arrêté du 12 décembre 2014).....	17
Tableau 2 : Valeurs seuils pour les eaux souterraines (Circulaire DEVL1227826C)	17
Tableau 3 : Principaux résultats analytiques des stations étudiées.....	18
Tableau 4 : Résultats analytiques des sondages supplémentaires	22
Tableau 5 : Bilan coûts-avantages pour le site du Gros Morne.....	27
Tableau 6 : Caractéristiques de l'excavation.....	30
Tableau 7 : Prix des excavations des cuves de la station de Schoelcher	31
Tableau 8 : Bilan coûts-avantages des traitements in situ pour le site de Gourbeyre	34

Liste des annexes

Annexe 1 : Organigramme de l'implantation de Martinique	
Annexe 2 : Classement 2010 des filières et techniques de traitement des sols pollués par tonnages décroissants	
Annexe 3 : Localisation des points de pollution	
Annexe 4 : Plan de masse de la station de Gourbeyre	
Annexe 5 : Présentation succincte des principaux projets parallèles	

Glossaire

AFNOR :	Association Française de Normalisation
ARR :	Analyse des Risques Résiduels
ATEX :	Atmosphère Explosive
BASIAS :	Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service
BASOL :	Base de données sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués, appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif
BDLISA :	Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères
BRGM :	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS :	Banque de Données du Sous-Sol
BSS-Eau :	Base de données relative aux informations sur les eaux souterraines
BTEX :	Benzène Toluène Ethylbenzène Xylènes
COV :	Composés Organiques Volatils
DICT :	Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux
GIS SOL :	Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Sols
HAP :	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT :	Hydrocarbures totaux
ICPE :	Installations classées pour la Protection de l'Environnement
INERIS :	Institut national de l'environnement industriel et des risques
MEDD :	Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
PLU :	Plan Local d'Urbanisme
POS :	Plan d'Occupation des Sols
SSP :	Sites et Sols Pollués
TERRASS :	Terres Excavées Réutilisées de façon Raisonnée dans des Aménagements en Sous Structures
TPHCWG :	Total Petroleum Hydrocarbons Criteria Working Group

1) Introduction

Le présent rapport rend compte des différents travaux exécutés lors de mon stage de fin d'étude du 16 février au 14 août 2015. Ce stage s'insère dans la formation Ingénierie et Géosciences pour l'Environnement cohabité par l'ENGEES, l'EOST et l'Université de Strasbourg et débouche sur un diplôme d'ingénieur. Le but de ce stage est d'accumuler de l'expérience avant l'entrée définitive dans le monde professionnel. Il s'agit de choisir l'entreprise d'accueil en fonction du domaine dans lequel on aimerait travailler. Pour ma part, travailler dans l'environnement était un objectif depuis le début des études supérieures. Il s'avère que ce projet s'est orienté vers la pollution en générale et plus particulièrement vers les sites et sols pollués et l'étude des flux d'eau souterrains et de surface.

C'est pourquoi effectuer mon stage au sein d'Antea Group m'a semblé judicieux puisque l'environnement et l'eau sont deux des quatre grands pôles de ce bureau d'étude. Les sites et sols pollués (ssp) font notamment partis du pôle environnement. J'ai intégré l'agence Antilles-Guyane dans l'implantation de Martinique à Schoelcher, en périphérie de Fort-de-France. En plus de l'expérience professionnelle, aller en Martinique a été une expérience humaine et une belle opportunité qui m'a permis de découvrir une île tropicale pour la première fois ainsi qu'une autre culture.

2014 a été une année riche en réponses aux appels d'offre pour l'agence, c'est pourquoi en 2015 de nombreux projets ont été gagnés et ont dû être réalisés, notamment en environnement et en eau. L'agence a donc eu besoin d'un stagiaire spécialisé dans ces domaines afin de pouvoir suivre les différents projets prévus pendant la période. J'ai pu apporter mes compétences pour réaliser les différentes études concernant les pollutions du sol et de l'eau, l'hydrogéologie ou encore l'hydraulique.

En répondant aux besoins de l'agence, j'ai pu travailler au contact d'ingénieurs expérimentés et spécialisés dans différents domaines. J'ai ainsi pu assimiler les réalités du métier au bureau mais également sur le terrain dans le cadre des différentes missions. La relation fréquente avec les clients et les sous-traitants m'a aussi permis de m'affirmer en tant qu'ingénieur et intégrer pleinement le monde professionnel. L'ensemble des projets auxquels j'ai participé étaient intéressants et formateurs. La majorité du temps a été consacrée aux projets ssp et aux projets concernant les forages d'eau. Les projets parallèles au sujet principal sont succinctement présentés en **Annexe 5**.

Dans un premier temps, l'entreprise d'accueil sera présentée pour poser le contexte du stage. Ensuite les missions de diagnostic effectuées dans le cadre de l'entreprise seront détaillées. Les méthodes utilisées, les trois stations d'étude, les résultats et leur interprétation seront présentés. Pour aller plus loin, une dernière partie présentera une analyse personnelle des missions. Les limites des projets seront exposées et des propositions de schémas conceptuels et de plans de gestion seront effectuées.

2) Présentation de l'entreprise

Antea Group est un groupe international d'ingénierie et de conseil en environnement. Ce bureau d'étude regroupe 3500 collaborateurs dans 100 agences réparties à travers 15 pays. Antea Group fait partie de la Holding Oranjewoud NW et a un chiffre d'affaire de 0,4 milliards d'euros. Antea Group fait également partie d'Inogen, une alliance internationale en environnement, dont la plupart des associés se trouvent en Europe, en Amérique du Nord et Centrale et en Afrique.

Antea Group en France a été créée au sein du BRGM en 1994 et s'est séparée de celui-ci en 2003. Antea France a été intégrée à Oranjewoud en octobre 2009. Elle comprend actuellement 550 experts, consultants et collaborateurs dans 20 implantations en métropole et 4 dans les DOM. 60% des clients sont du secteur public et 14% sont extérieurs à la France.

Les quatre grands pôles d'Antea Group sont l'eau, les infrastructures, l'aménagement du territoire et l'environnement. L'environnement représente 34% de l'activité parmi ces quatre domaines.

Dans la partie environnement, les travaux effectués sont les dossiers concernant les ICPE, les études d'impacts de travaux, les diagnostics du sous sol, audits et surveillance de sites industriels, les plans de gestion et études des risques sanitaires, ou encore les maîtrises d'œuvre et travaux de dépollution. Certains grands travaux ont été effectués, comme par exemple des travaux de dépollution de solvants chlorés de l'usine Continental de Clairoux (60) pour un montant de plus de 200 k€ ou encore l'étude de l'impact de la ligne haute tension entre Nzérékoré et Bamako pour plus de 1500 k€.

L'agence Antilles-Guyane est intégrée à la division internationale du groupe. Elle est constituée de 3 implantations, à Schoelcher en Martinique (voir Figure 1), aux Abymes en Guadeloupe et à Kourou en Guyane. Chaque implantation a son responsable et est constituée de 6 à 7 employés permanents, comprenant les responsables, les assistantes, les ingénieurs, les techniciens et projeteurs. L'effectif est régulièrement renforcé par 1 ou 2 stagiaires par implantation. Le responsable de l'implantation de Martinique est Fabien PABIOT, également directeur de l'agence. A cette date, l'équipe est composée d'une assistante, de 4 ingénieurs spécialisés en maîtrise d'œuvre, aménagement du territoire, infrastructures, géotechnique et hydrogéologie, et d'un dessinateur-projeteur. L'organigramme de l'implantation de Martinique est présenté en **Annexe 1**.

En Martinique, les grands projets traités en environnement sont par exemple le renouvellement de l'autorisation d'exploitation de la carrière des Sablières de Fond Canonville dans le cadre des consultations ICPE, ou encore le diagnostic des déchets de surface de la plateforme de la Compagnie Foyalaise de Transports Urbains.



Figure 1 : Localisation de Schoelcher

3) Missions de diagnostics sur les stations-service

3.1) Méthodes utilisées

De manière générale, les diagnostics sont utilisés dans les démarches de gestion. Il s'agit de décrire l'état du milieu par « l'acquisition, l'organisation et l'interprétation de données ou d'informations spécifiques au site et représentatives du contexte local » (MEDD, 2007).

D'après cette fiche du MEDD, les diagnostics sont réalisés dans le but :

- de construire et faire évoluer le schéma conceptuel puis le modèle de fonctionnement ;
- d'analyser les enjeux liés à l'état de pollution et des milieux d'exposition ;
- de quantifier et caractériser les volumes de terres à traiter et ainsi préparer et organiser les filières de gestion et le chantier de réhabilitation ;
- de vérifier les expositions résiduelles ;
- de justifier et argumenter le plan de surveillance des milieux.

Ces études environnementales ont été réalisées conformément à la circulaire du 8 février 2007, relative à la méthodologie de gestion des Sites et Sols Pollués du Ministère en charge de l'Environnement et à la norme AFNOR NF X 31-620.

3.1.1) Plans d'échantillonnage

En général, le choix des points de sondage en ssp se base sur les normes, l'expérience et le bon sens. Le but est de définir les zones potentiellement polluées à l'aide des études préliminaires et de cibler ces zones avec un programme de sondages adapté.

La norme ISO 10381-1 définit les lignes directrices pour l'établissement des programmes d'échantillonnage. Elle décrit notamment les quatre grands types de modèles d'échantillonnage :

- Modèles reposant sur aucune estimation spécifique de la distribution des substances ;
- Modèles reposant sur une distribution localisées des substances, connus sous le nom de « points chauds » ;
- Modèles reposant sur des distributions linéaires ;
- Modèles reposant sur des distributions en bande.

Dans le cas des stations-service, les points chauds sont connus (cuves, volucompteurs, séparateur à hydrocarbures, regards divers) donc le modèle repose sur une distribution localisée des substances.

La norme détaille plusieurs exemples de modèles d'échantillonnage pour le sol, à savoir le modèle non systématique (échantillonnage irrégulier en X, W ou zigzag par exemple), le modèle circulaire, le modèle systématique (grilles régulières), le modèle aléatoire, le modèle aléatoire stratifié, le modèle aléatoire sans alignement, le modèle systématique sur grille non rectangulaire (grille triangulaire ou en quinconce) et le modèle rectiligne.

De plus, les échantillonnages systématiques peuvent être complétés par des échantillonnages orientés, afin de cibler certaines zones. Il s'agit également de s'adapter aux contraintes et obstacles du terrain.

Dans les études des stations-service, le plan d'échantillonnage a généralement été effectué en fonction des zones à cibler et des contraintes du site, qui étaient parfois fortes. Pour certaines parties, un modèle en grille triangulaire a été utilisé car selon la norme, statistiquement c'est la grille qui permet la meilleure répartition des points.

3.1.2) Prélèvements

La norme ISO 10381-2 définit les lignes directrices pour les techniques d'échantillonnage. Cette norme a une vocation agricole mais peut également être utilisée en diagnostic de sol. D'après cette norme, pour les échantillons de sol, il s'agit d'avoir des échantillons aussi représentatifs que possible et de ne pas leur faire subir de modifications, dans la mesure du possible.

Pour des mesures de composés organiques volatils, il s'agit de collecter des échantillons non remaniés. D'après la norme, il est impossible d'élaborer une technique d'échantillonnage adaptée à chaque site. Les principales règles sont de faire des échantillons ponctuels si l'on veut tenir compte de la variabilité spatiale du sol, de faire des échantillons de taille à pouvoir faire toutes les analyses, représenter toutes les caractéristiques du sol, et ne pas masquer les variations. Les échantillons ne doivent pas être affectés par la technique d'échantillonnage, le transport ou le stockage. De plus, la contamination croisée et la dispersion des polluants doivent être évitées. Pour limiter la contamination croisée, la norme préconise le lavage du matériel.

La norme indique que la technique d'échantillonnage doit être adaptée aux caractéristiques du sol, au type d'échantillon, à la quantité d'échantillon, à la précision voulue, à l'accessibilité du site et à la profondeur à atteindre. Elle indique également qu'il s'agit de prendre en compte les aspects relatifs aux coûts, à la sécurité, à la disponibilité de l'équipe et des machines, au facteur temps et à l'environnement.

Compte tenu de tous ces facteurs la pelle mécanique a été choisie pour 1 station. En effet, lorsque la place est disponible et que le sol est directement accessible (sans dalle béton), c'est une technique permettant une bonne précision par rapport à la profondeur échantillonnée (l'échantillon étant pris en paroi de fouille). C'est également une technique peu chère et disponible, permettant d'aller à des profondeurs suffisantes (4 ou 5m maximum) pour les ssp sans remaniement du sol.

Pour les deux autres sites, en raison de la présence d'une dalle béton sur des sites étroits et en zone urbaine, la tarière mécanique a été préférée à la pelle mécanique.

La tarière mécanique a permis le passage de la dalle béton (avec un tricône) et l'échantillonnage, tout en permettant l'exploitation des installations. La norme ISO 10381-2 indique que la tarière à vis permet une précision de 300 à 500 mm et une profondeur de 20 m maximum, soit une profondeur suffisante. Cependant le sol est remanié et ce n'est pas adapté aux sols saturés. Les forages à la tarière permettent également de placer directement un piézomètre dans le trou foré.

Selon la norme, le contenant des échantillons ne doit pas contaminer ces derniers, il doit être inerte par rapport aux polluants prélevés et empêcher la perte de composants. Ainsi, les échantillons de sol envoyés en laboratoire ont été conditionnés dans des flacons en verre. D'après la norme, le verre est très approprié aux huiles et goudrons, notamment aux hydrocarbures. Les échantillons de sol doivent également être stockés à une température inférieure à 5°C.

La norme AFNOR FD X31-615 définit les méthodes de prélèvement et échantillonnage des eaux souterraines dans un forage. Elle donne notamment des pistes pour le choix de l'outil de purge ou de prélèvement. Ceux-ci doivent être adaptés au protocole envisagé et à l'ouvrage, et doivent être compatibles avec les produits recherchés. Les méthodes de prélèvement sont soit des mécanismes à volume fini (tubes ou seringues), soit à pompe continue.

Une pompe a été utilisée pour la purge et le prélèvement a été effectué à l'aide d'un tube préleveur à simple obturation (tube Bailer). Le tube a été préféré à la pompe afin de limiter les risques de contamination par la pompe et son tube d'exhaure. De plus, des tubes jetables ont été utilisés pour éviter les contaminations entre les prélèvements, comme le préconise la norme.

Les points de prélèvement d'eau ont été choisis en fonction de l'eau découverte lors des sondages ou en fonction des piézomètres déjà en place, pour des raisons pratiques et économiques.

3.1.3) Analyse des polluants

Selon la norme ISO 10381-1, le choix des polluants à analyser est à adapter au type de site en se basant sur son historique.

Le Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués du BRGM publié en 2001 fait le point sur les différents polluants que l'on peut trouver dans le sol. Ce guide indique notamment que les métaux peuvent provenir, entre autres, de l'utilisation de combustibles fossiles ou de l'essence au plomb. Il indique aussi que les hydrocarbures (ou huiles minérales) proviennent généralement d'une pollution pétrolière (production, raffinage, transport et utilisation des hydrocarbures). Les hydrocarbures aromatiques volatils (BTEX) peuvent avoir une origine très variée. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) peuvent provenir entre autres des produits pétroliers. Le naphthalène est l'un des HAP représentatifs d'après le Guide.

Vu les indications de ce guide, il a été choisi de faire les analyses de sol et d'eau sur les hydrocarbures, les BTEX, le naphthalène, le plomb et certains métaux représentatifs. Cependant, d'autres analyses spécifiques peuvent être réalisées à la demande du client.

3.1.4) Traitement des contaminants

Il n'existe pas de norme permettant le choix d'un traitement en particulier. Les normes, comme la NF 31-620, spécifient d'utiliser un traitement permettant la compatibilité entre le milieu et l'usage du site. Le choix du traitement incombe aux entreprises, avec une garantie d'efficacité du traitement.

Les traitements utilisés en France sont présentés en **Annexe 2**. Les mêmes traitements sont utilisés à travers le monde. En 2010, les 2 traitements les plus utilisés sont le confinement in situ et le stockage en installation de stockage de déchets inertes. Ils représentent près de 50% des traitements utilisés. L'ensemble des installations de stockage (Inertes et déchets dangereux) regroupent près 35% des terres traitées (Cadière & Masselot, 2012).

D'après le rapport, ces résultats correspondent à la croissance de la demande liée au secteur immobilier. En effet, ce sont des traitements rapides, qui permettent une mise en place rapide de bâtiment sur le site.

Le confinement in situ n'est pas un traitement à proprement dit puisque les polluants restent sur site, mais les voies de transfert sont coupées. Le stockage en installations se fait après excavation des terres. L'excavation est souvent utilisée car elle est simple, rapide, et supprime toute la pollution si les investigations sont bien faites. En France et en Italie, les terres polluées excavées sont généralement considérées comme des déchets et éliminées en installations de stockage de déchets (Environnement & Technique n°289, septembre 2009). En Belgique, en Allemagne et aux Pays-Bas, les terres sont majoritairement réutilisées, après traitement ou non. Cependant, la valorisation évolue, avec notamment des guides tels que Guide de réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement (Ministère du Développement durable, BRGM, INERIS, 2012) ou la banque de données TERRASS du BRGM (Environnement & Technique n°316, 2012).

Néanmoins, le choix du traitement dépend toujours des meilleures techniques disponibles et de leurs coûts, comme le rappelle la circulaire du 8 février 2007. En Martinique, un grand nombre de techniques sont indisponibles et il n'existe pas de centre de traitement des terres excavées polluées. Les terres sont réutilisées ou envoyées en métropole en centre de stockage inertes ou dangereux.

3.2) Stations-service étudiées

Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) sont des installations susceptibles de générer des risques pour l'environnement et dépendent d'une réglementation particulière. Les stations-service sont des ICPE et sont soumises aux règles définies par le Décret n° 2010-367 du 13 avril 2010 et modifiées par le décret n° 2014-285 du 3 mars 2014. Dans le cadre d'un changement d'activité ou de propriétaire d'une station-service, un diagnostic du sous-sol de la station doit être effectué préalablement à ce changement.

Les études réalisées dans le cadre de mon stage concernent notamment trois stations-service, dont les parties communes seront explicitées mais dont les spécificités de chacune seront mises en avant.

Les stations-services sont localisées sur la figure suivante (Source : Google maps)

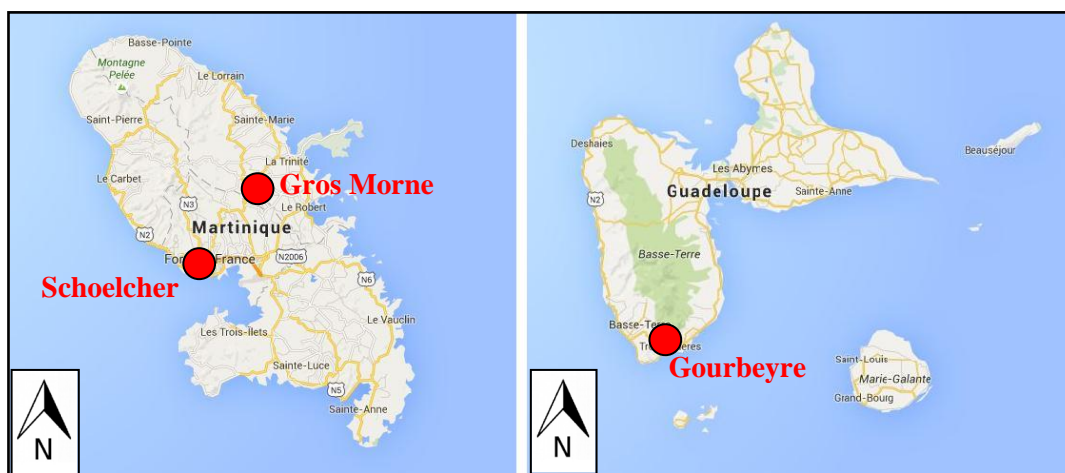


Figure 2 : Localisation des 3 stations-service

3.2.1) Station du Gros Morne

La première station-service est située dans la ville du Gros Morne, dans la région Nord Atlantique de la Martinique. Le diagnostic a été commandé en raison d'un changement éventuel de propriétaire de la station, sans changement d'activité.

Les investigations ont été réalisées entre le 11 au 13 mars 2015. Huit sondages ont été effectués par tarière mécanique jusqu'à 5 mètres de profondeur. Deux piézomètres ont été mis en place jusqu'à 7 mètres, dont l'un est un prolongement d'un sondage (SdP). Au global, quarante-neuf mètres linéaires ont été forés sur les différents points de sondage.

La localisation des sondages est présentée dans la figure suivante :

¹ Dépotage : Livraison en carburant de la station

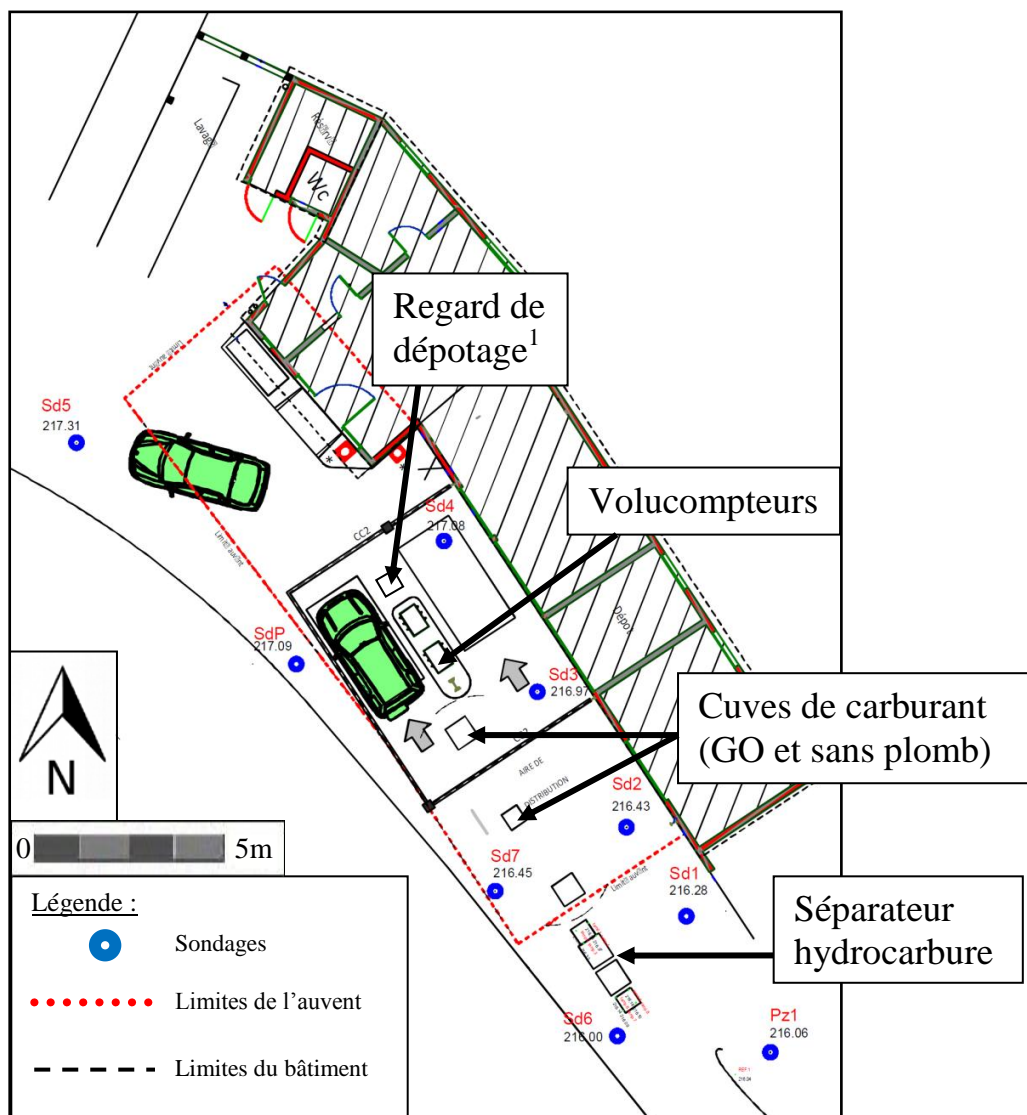


Figure 3 : Localisation des sondages réalisés au Gros Morne

3.2.2) Station de Schoelcher

La deuxième station-service est située à Schoelcher, dans la région Centre de la Martinique, à côté d'un centre commercial. Le diagnostic a été commandé en raison d'une probable transformation de la station en parking.

Les investigations ont été réalisées du 26 au 30 mars 2015. Dix sondages ont été effectués par tarière mécanique jusqu'à une profondeur maximale de 5 mètres. Deux de ces sondages, Sd2 et Sd4 ont été prolongés jusqu'à 7 mètres et transformés en piézomètres, respectivement PZ1 et PZ2. Ces piézomètres ont été tubés à l'avancement. Au global, trente-quatre mètres linéaires ont été forés sur les différents sondages.

Le plan des investigations est présenté dans la figure suivante. Il est à noter que ce site n'est pas équipé de séparateur à hydrocarbure.

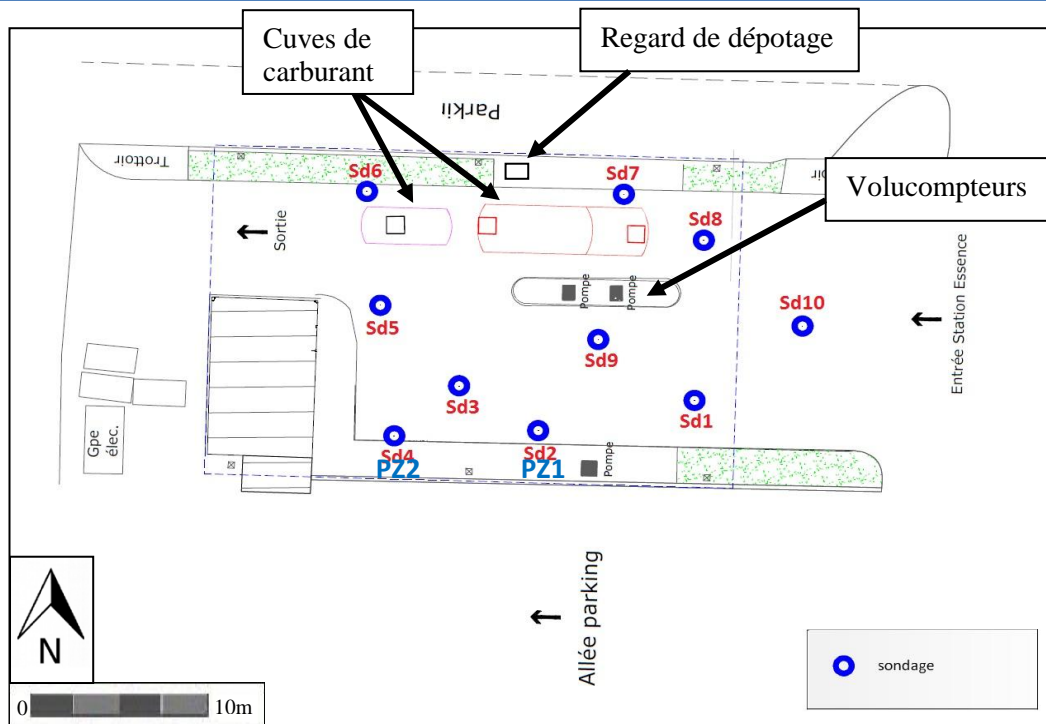


Figure 4 : Localisation des sondages réalisés à Schoelcher

3.2.3) Station de Gourbeyre

La troisième station-service est située à Gourbeyre, dans le sud de Basse-Pointe en Guadeloupe. Il s'agit d'une station désaffectée, dont le diagnostic a été commandé en vue d'une dépollution du site.

Les investigations ont été réalisées le 25 avril 2015. Sept sondages ont été effectués par pelle mécanique ou en fond de fosse pour des prélèvements jusqu'à une profondeur maximale de 4,4 mètres. Les trois piézomètres étaient déjà présents suite à une étude antérieure.

Le plan des investigations est présenté dans la figure suivante :

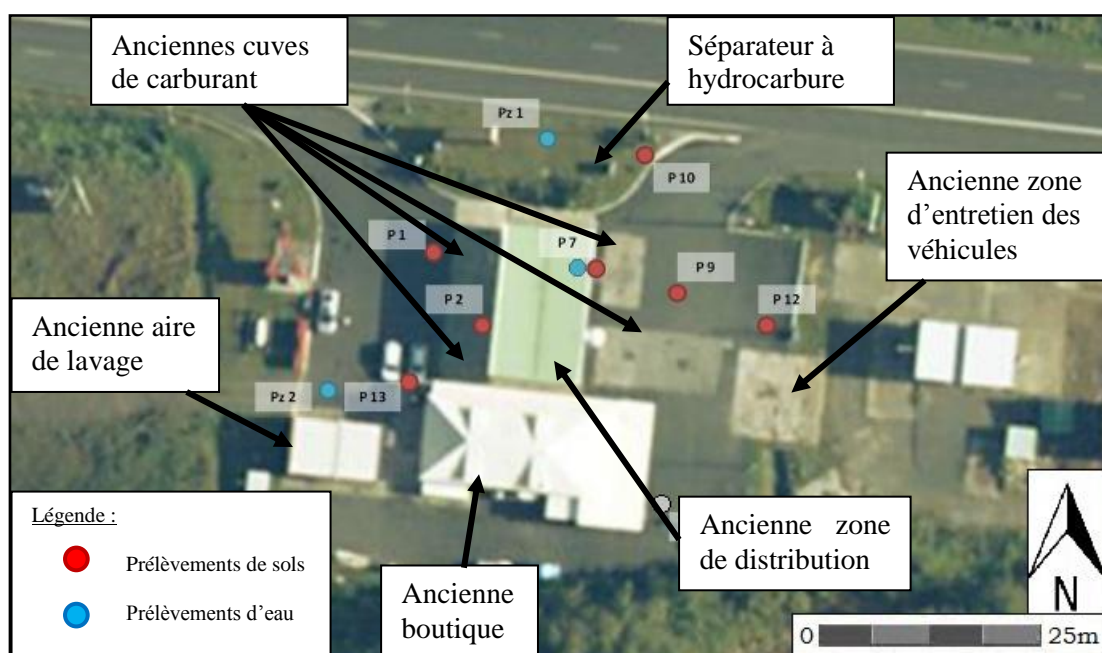


Figure 5 : Localisation des sondages réalisés à Gourbeyre

3.2.4) Synthèse des problématiques

Les problématiques sont essentiellement les mêmes pour les trois stations. L'objectif est de cibler les points susceptibles d'être à l'origine d'une pollution. Les cuves sont susceptibles de fuir et de relâcher des carburants dans le sol. Les volucompteurs peuvent également fuir sur la surface du sol. Les regards de cuves et de dépotage sont aussi un point sensible puisque les polluants peuvent ruisseler à partir de là.

Les sondages ont été implantés en fonction de ces points vulnérables. Ils ont été placés autant que possible autour des cuves, des volucompteurs et des regards.

De plus, un autre objectif est de balayer l'ensemble du site, afin d'avoir une vision la plus globale possible. C'est pourquoi les sondages ont été placés en quinconce dans certains cas.

Les piézomètres ont été disposés de manière à avoir la distance la plus grande entre eux, afin d'avoir une meilleure compréhension de l'hydrogéologie.

3.3) Résultats et interprétation

3.3.1) Géologie et hydrogéologie rencontrées au droit des sites

L'observation du sol sortant de la carrière permet de faire la coupe géologique au droit de chaque sondage, sur la profondeur forée. Ces coupes permettent de visualiser les différentes couches du sous-sol et de comprendre le fonctionnement de l'aquifère au droit du site. Analyser l'aquifère permet de savoir s'il y a un risque de transfert de pollution par le flux d'eau souterraine.

3.3.1.1) Géologie du Gros Morne

L'analyse de la pédologie lors des sondages sur le site de la commune du Gros Morne a permis de mettre en évidence une matrice composée d'argile parfois très raide, sur toute la surface de la station et jusqu'à 5 m.

La coupe suivante a pu être construite.

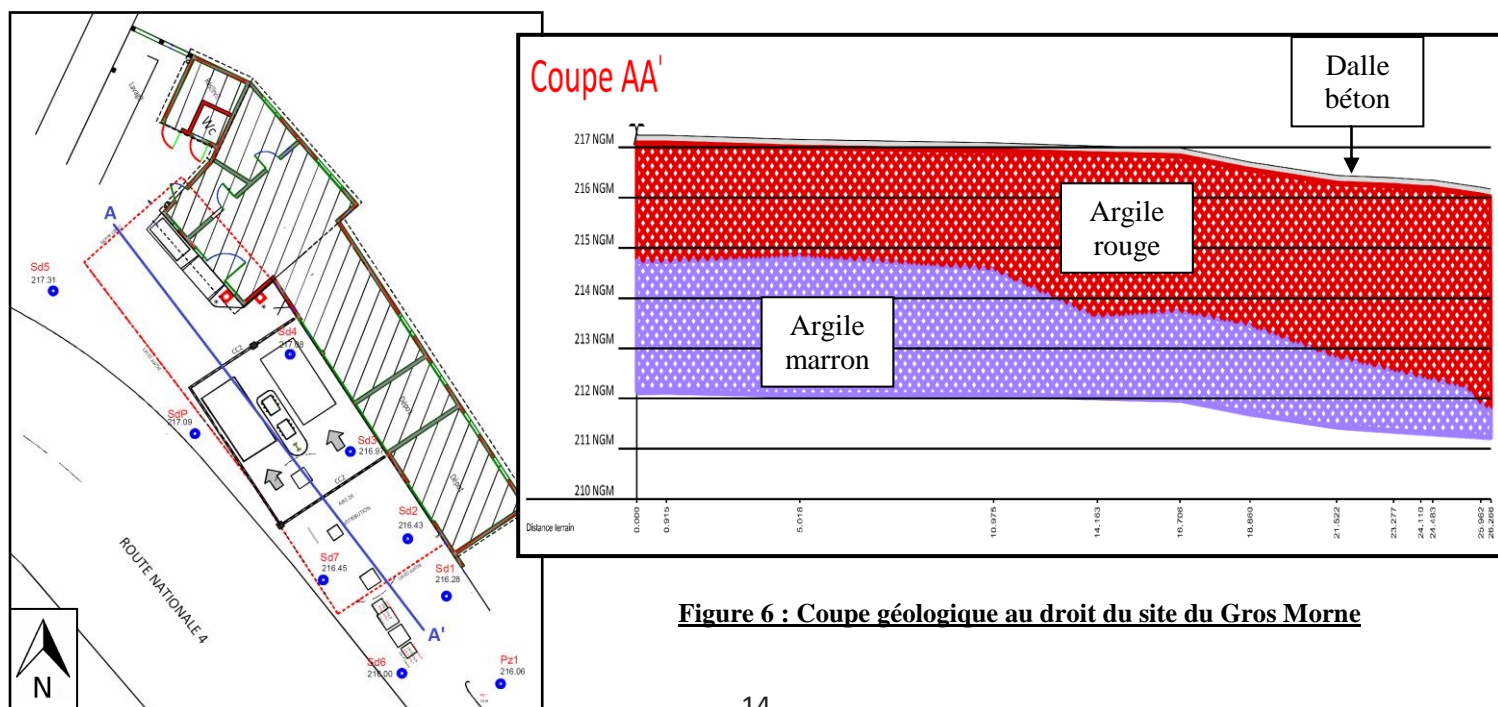


Figure 6 : Coupe géologique au droit du site du Gros Morne

Deux couches d'argile ont été identifiées au droit du site. Une couche d'argile rouge de 0,15 à maximum 4 m de profondeur et une couche d'argile marron à partir de 2 m minimum. Ces couches d'argile sont très peu perméables et expliquent en partie l'absence d'eau au droit du site. De même, les sondages effectués antérieurement à 200 m du site, dans la même formation géologique, n'ont pas mis en évidence la présence d'eau. Le manque d'eau peut également s'expliquer par la topographie du site car la station se situe sur un point haut.

De plus, ces couches sont visiblement constituées d'argile naturelle. Aucun indice organoleptique de pollution n'a été détecté.

L'analyse de la pédologie permet de voir que les flux d'eau souterraine sont inexistantes au droit du site, et donc qu'ils ne constituent pas un vecteur de pollution.

3.3.1.2) Géologie du Schoelcher

Pour la station de Schoelcher, les investigations ont mis en évidence des couches d'argile et de sable alternées, sans continuité évidente.

Au Nord de la station, les sondages Sd5, Sd6, Sd7, Sd8 et Sd9 ont présenté un refus entre 0,4 et 3,2 m. Pour Sd8, le refus² a été identifié à 2,7 m comme étant le substratum. Mais pour les autres sondages le refus n'est pas clair. Par mesure de sécurité ces sondages n'ont pas été poursuivis donc il n'a pas été possible de déterminer si le refus provient du substratum, d'un bloc de roche, d'une canalisation, d'une dalle béton ou d'une cuve.

Une forte odeur d'hydrocarbures et une couleur noire ont été identifiées pour Sd7 à 2 m et 3 m de profondeur.

Au Sud de la station, l'argile est comprise entre 0,3 et 3,6 mètres de profondeur et le sable est situé de part et d'autre de l'argile. De l'eau a été découverte à cet endroit (Sd2, Sd3 et Sd4). L'argile étant généralement verdâtre et très plastique, les couches de sable constituent des poches d'eau perchées (voir figure 14). Dans ce cas, le vecteur eau souterraine existe. Il est cependant très limité en raison des couches d'argiles peu perméables limitant les flux verticaux.

De plus, le volume d'eau compris dans les poches est faible, puisque les piézomètres 1 et 2 ont été asséchés en respectivement 1,5 et 8 minutes de pompage. Le piézomètre 1 ne s'est pas rechargé après 20 jours de repos.

Les prélèvements d'eau ne présentent pas d'indices organoleptiques. Il n'y avait pas de flottants dans l'eau, ni d'odeur particulière.

3.3.1.3) Géologie de Gourbeyre

Les sondages ont mis en évidence une couche de surface en enrobé pour P1 et en remblais pour P2, P7, P9 et P10. La matrice est principalement composée d'argile rouge, jaune, noire ou marron, pulvérulent pour P1, P7, P10 et P12, et plastique pour P2 et P13. Le sondage P1 a présenté un refus sur dalle béton à 0,6 m.

Ces observations correspondent aux sondages effectués dans la même formation géologique de 70 à 200 m du site, à la même altitude.

Le piézomètre PZ3 était à sec. Le flux souterrain n'a pas pu être identifié.

² Refus : Arrêt du sondage, blocage de la foreuse sur un horizon raide ou sur un bloc.

Afin d'évaluer visuellement la présence de polluants en l'absence d'analyseur PID, les échantillons ont été immergés dans l'eau. Si une irisation se forme à la surface, c'est-à-dire un reflet aux couleurs de l'arc-en-ciel, l'échantillon est susceptible de contenir des hydrocarbures. Si la surface de l'eau devient visqueuse, c'est-à-dire si l'eau apparaît plus solide, plus épaisse, l'échantillon est susceptible de contenir des huiles.

Un exemple de cette identification est présenté dans la figure suivante :



Figure 7 : Identification de terrain des hydrocarbures et huiles pour P7-0,5m (Gourbeyre)

Une irisation a été observée sur P7-0,5m, P7-1,25m, P13-0,5m et PZ1. Une viscosité a été observée sur P7-1,25m, P12-3,5m et P13-0,5m. L'eau prélevée en PZ1 présente également une légère odeur d'hydrocarbures.

De plus, le sondage au point P7 a mis en évidence une forte odeur d'hydrocarbures et des traces noires à 2,9 m de profondeur. L'eau du point PZ7 a été prélevée en fond de fouille à 4,4 m.

3.3.2) Résultats analytiques

Les mesures au PID et les indices organoleptiques³ tels que l'odeur, la couleur et la texture, ont permis de sélectionner les échantillons à envoyer au laboratoire.

Pour les échantillons de sol, le programme analytique comprenait généralement les hydrocarbures totaux C10-C40 (HCT), les HAP (principalement le naphthalène), les BTEX, le plomb et les métaux. Pour les échantillons d'eau, le programme analytique comprenait généralement l'indice hydrocarbures, les BTEX, les HAP et les métaux.

³ Indices organoleptiques : Indices que l'on peut identifier avec les sens, sans appareil de mesure.

3.3.2.1) Références utilisées et synthèse des résultats

Les références généralement utilisées sont le bruit de fond géochimique et les limites de quantification du laboratoire. On considère une anomalie lorsque les valeurs sont supérieures à ces références.

En l'absence de valeurs de bruit de fond géochimique en Martinique et en Guadeloupe pour les composés organiques, les analyses de sol ont été comparées à titre indicatif avec les seuils d'acceptation des centres de stockage des déchets inertes décrit dans l'annexe de l'arrêté du 12 décembre 2014. Si les seuils des terres polluées excavées le permettent, les matériaux sont stockés dans des centres de déchets inertes.

Ces seuils sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Paramètres	Unités	Seuil d'acceptation déchets inertes
Hydrocarbures	mg/kg MS	500
HAP	mg/kg MS	50
BTEX	mg/kg MS	6
Arsenic	mg/kg MS	0,5
Baryum	mg/kg MS	20
Cadmium	mg/kg MS	0,04
Chrome	mg/kg MS	0,5
Cuivre	mg/kg MS	2
Mercure	mg/kg MS	0,01
Molybdène	mg/kg MS	0,5
Nickel	mg/kg MS	0,4
Plomb	mg/kg MS	0,5
Sélénium	mg/kg MS	0,1
Zinc	mg/kg MS	4

Tableau 1 : Seuils d'acceptation des déchets inertes (Arrêté du 12 décembre 2014)

Le rapport du Gis Sol (Groupement d'intérêt scientifique sur les sols) dans le rapport de 2011 sur l'état des sols de France indique les concentrations de plusieurs métaux en Martinique et en Guadeloupe (page 157). Ces valeurs seront également utilisées pour comparer les résultats des analyses des métaux.

Les résultats d'analyses d'eau ont été comparés aux valeurs moyennes en Martinique, aux normes de potabilité, à la norme de qualité environnementale (NQE) de « l'Etude détaillée du fond géochimique des eaux souterraines de Martinique » faite par le BRGM en 2013, et aux valeurs seuils pour les eaux souterraines décrites dans la circulaire DEVL1227826C.

Paramètres	Seuil d'acceptation déchets inertes	Unités
Indice hydrocarbure	1,0	mg/l
HAP somme (4)	0,1	µg/l
Benzène	1,0	µg/l
Toluène	0,7	mg/l
Ethylbenzène	0,3	mg/l
Xylène	0,5	mg/l

Tableau 2 : Valeurs seuils pour les eaux souterraines (Circulaire DEVL1227826C)

Les résultats analytiques des points les plus pollués des stations étudiées sont présentés dans le tableau suivant (en rouge les valeurs supérieures aux valeurs seuils) :

Station	Point	HCT (mg/kg MS)	BTEX (mg/kg MS)	Naphtalène (mg/kg MS)	Plomb (mg/kg MS)
Gros-Morne	Sd1-2m	68	RAS	RAS	25
	Sd2-2m	85			19
	Sd4-2m	190			25
	Sd4-4m	42			15
Schoelcher	Sd7 - 2m	10300	RAS	RAS	RAS
	Sd7 - 4m	2800			
Gourbeyre	P7 - 0,5m	282	RAS	RAS	Non mesuré
	P9 – 1m	251			
	P10 – 2m	65			
	PZ1	2,6 mg/l	187 µg/l	17 µg/l	
	PZ7	384 mg/l	16 µg/l	< 100 µg/l	

Tableau 3 : Principaux résultats analytiques des stations étudiées

Les pollutions sont localisées sur les plans des stations dans l'**Annexe 3**.

3.3.2.2) Résultats du Gros Morne

Pour la station du Gros Morne, la pollution est localisée au niveau de Sd4 à 2 et 4m, et dans la zone de Sd1 et Sd2 à 2 m minimum. Les hydrocarbures de Sd4 peuvent provenir des volucompteurs situés à proximité et des pertes de carburant lors de la distribution. Cependant le point bas de la zone de distribution est situé au sud, au niveau de l'avaloir donc le ruissellement vers le nord semble très difficile. Pour Sd1 et Sd2, les hydrocarbures peuvent provenir des cuves de carburant situées à moins de 3 m. Il est à noter toutefois que les concentrations en hydrocarbures ont des valeurs inférieures au seuil d'acceptation des matériaux en installation de stockage de déchets inertes.

Les résultats des analyses de sol en composés mono-aromatiques volatils (benzène, toluène, éthylbenzène et xylène) et naphtalène sont tous inférieurs aux limites de quantification du laboratoire.

Concernant le plomb, les résultats des analyses sont supérieurs aux seuils d'acceptation des déchets inertes, mais les valeurs restent comprises dans la gamme des valeurs du Gis Sol (Gis Sol, 2011) pour la région du Gros Morne (c'est-à-dire, entre 15 et 25 mg/kg ms).

3.3.2.3) Résultats de Schoelcher

Pour la station de Schoelcher, la pollution est localisée au niveau de Sd7. La forte concentration indique que les hydrocarbures proviennent de la cuve de carburant située à moins de 1 m ou du regard de dépotage situé à environ 6 m. De plus, le sondage a mis en évidence du sable gris à ce point. A priori, ce dernier est le sable d'enrobage de la cuve enterrée à 3 mètres (profondeur du sondage Sd7). Selon le type de fuite de la cuve, il est possible que l'ensemble du sable d'enrobage soit pollué de la même manière.

De plus, les hydrocarbures ont été analysés par fractions (selon la méthode TPHCWG), selon la longueur de la chaîne carbonée. Le détail des fractions d'hydrocarbures présents dans Sd7 est présenté dans le tableau de la figure suivante :

	Sd7 – 1/2	Sd7 – 2/3
Hydrocarbures aromatiques	3 %	< 1 %
Hydrocarbures aliphatiques	97 %	> 99 %
Détail des aliphatiques		
C6-C8	0,2%	0,5%
C8-C10	1,6%	2,3%
C10-C12	10,4%	12,9%
C12-C14	15,4%	17,7%
C14-C16	21,8%	20,6%
C16-C21	35,9%	31,3%
C21-C35	11,3%	13,9%
C35-C40	3,4%	0,7%

Figure 8 : Détail des résultats des hydrocarbures par fractions pour Sd7

Les indices aliphatiques des fractions C6 à C40 sont majoritaires. On note également que la fraction C12 à C21 représente 73% des indices aliphatiques mesurés. Les hydrocarbures aromatiques sont plus solubles dans l'eau, tandis que les aliphatiques sont plus volatils (Environnement&Technique n°294, Mars 2010). Les hydrocarbures présents sont donc principalement des hydrocarbures plutôt volatils, avec une chaîne carbonée moyennement longue (gazole ou essence).

Les concentrations en HCT du sondage Sd7 sont 20 fois supérieures (tranche 1 à 2.00m) et presque 6 fois supérieures (tranche 2 à 3.00 m), au seuil d'acceptation des déchets (500 mg/kg MS).

Les concentrations des BTEX et du plomb sont toutes inférieures aux limites de quantification du laboratoire pour tous les sondages. Le naphthalène est mesuré sous la limite de quantification de 0,1 mg/kg MS pour tous les sondages sauf Sd7. Il a été mesuré à 0,25 mg/kg MS pour Sd7-2m et 0,79 mg/kg MS pour Sd7-3m, soit quasiment la limite de quantification. A titre de comparaison, le seuil d'acceptation des déchets inertes concernant les HAP (dont naphthalène) est de 50 mg/kg MS.

La présence majoritaire des hydrocarbures aliphatiques des fractions C12-C21 et l'absence de BTEX confirment une pollution soutenue engendrée par du gasoil.

D'après le n°294 du magazine Environnement & Technique, « les alcanes ramifiés subissent moins de biodégradation que les n-alcanes » et ce phénomène permet de déterminer l'âge de la pollution à travers des chromatogrammes. Les chromatogrammes faits par le laboratoire ne montrent pas une courbe de Gauss parfaite. Cela signifie que le gasoil est plutôt dégradé, c'est-à-dire plutôt ancien.

Aucune pollution avérée n'a été détectée aux autres points que Sd7, ni dans les échantillons d'eau des piézomètres PZ1 et PZ2.

3.3.2.4) Résultats de Gourbeyre

Les résultats des analyses de sol montrent des concentrations non significatives sur l'ensemble des paramètres analysés. Toutes les concentrations de polluants dans le sol sont inférieures aux seuils de stockage des déchets inertes.

Les concentrations les plus élevées dans les sols sont concentrées dans la couche superficielle, entre 0 et 1 m (P7 et P9) à proximité de la cuve DE et vers 2m (P10) à proximité du séparateur à hydrocarbures (voir le plan de masse de la station en **Annexe 4**).

Les polluants du sol sont principalement les hydrocarbures. Aux points P7 et P9, la concentration en hydrocarbures est respectivement de 282 et 251 mg/kg MS, soit environ 2 fois moins que le seuil de référence. Au point P10 elle vaut 65 mg/kg MS, soit 8 fois moins que le seuil.

Au niveau des fosses, le sable de remblai (non échantillonné car sous eau) et l'eau accumulée en fond de fosse, présentent des indices de pollution les plus importants (PZ7). Les matériaux présents autour des fosses ne présentent pas d'indice de pollution, même sous le niveau du radier (P9 à 4,4 m, P2 à 4,4 m, P12 à 3,5 m).

Dans les eaux souterraines, des teneurs en hydrocarbures (2,6 mg/l), en naphtalène (170 µg/l) et en benzène (54 µg/l) sont constatées en PZ1, confirmant un impact notable autour du séparateur d'hydrocarbures. L'absence de polluants en PZ2 laisse envisager une faible étendue de la pollution, centrée sur le séparateur.

4) Analyse des missions et perspectives

4.1) Limites des investigations

4.1.1) Implantations des sondages

Pour les stations du Gros Morne et de Schoelcher, la position des réseaux des canalisations n'étaient pas connus avec précision. Certains sondages n'ont pas pu être effectués en raison de ce manque de données et pour des raisons de sécurité. En effet, sans connaître précisément l'emplacement des canalisations, il existe plusieurs risques lors de la réalisation des sondages. Il y a un risque de percer une cuve ou une canalisation et de polluer, et il y a un risque pour les opérateurs. Pour la station de Schoelcher, plusieurs sondages ont présenté un refus à la tarière à des profondeurs très faibles. Ces sondages auraient pu être continués avec un plan de récolement (plan des ouvrages tels qu'ils ont été construits) indiquant avec certitude l'absence de canalisation à cet endroit. Sans un tel plan, les sondages ont donc été stoppés et n'ont pas apporté de réelles informations sur le sous-sol.

Le plan suivant présente une proposition complémentaire pour les implantations de la station du Gros Morne, dans le cas idéal d'une enveloppe financière illimitée et un plan de récolement précis. Il ne remet pas en cause les sondages effectués.

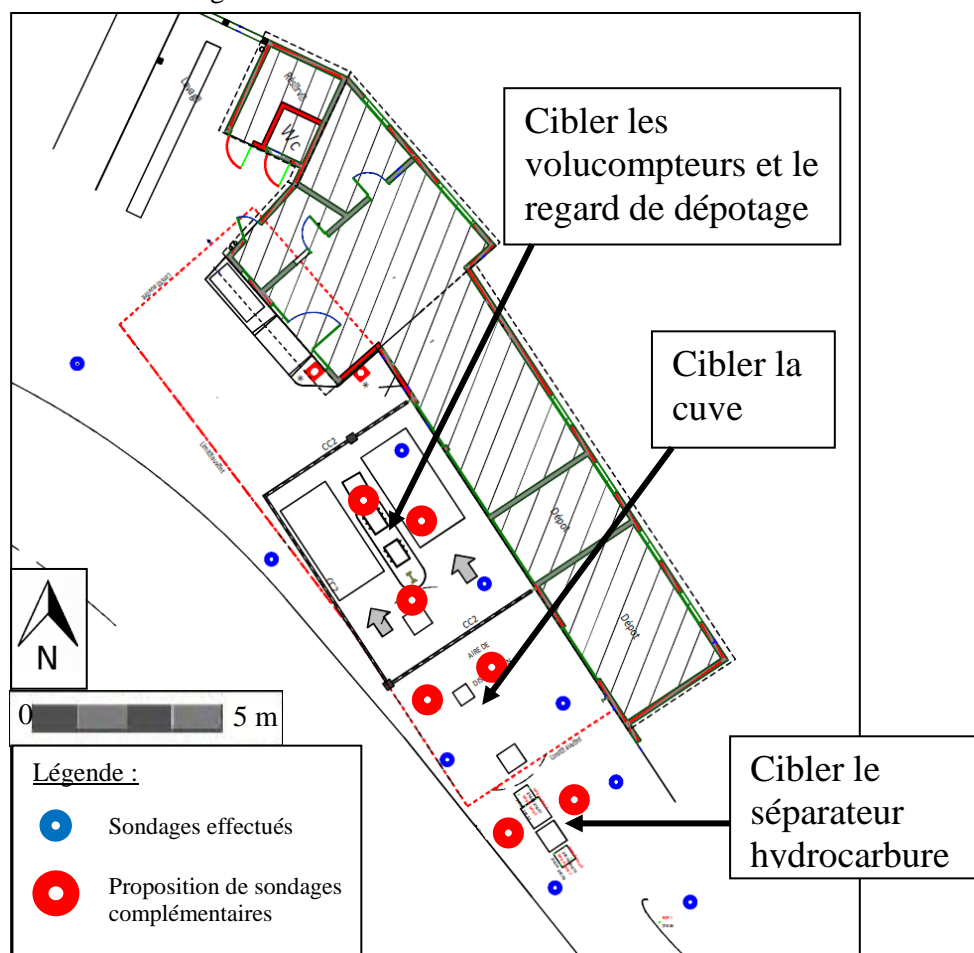


Figure 9 : Proposition complémentaire pour les implantations du Gros Morne

Ces sondages supplémentaires permettraient de mieux cibler les volucompteurs, les cuves, le séparateur hydrocarbure, les regards de dépotage et d'échanges de réseaux.

Cette disposition n'est envisageable qu'en ayant un plan de récolement fiable, et une enveloppe financière plus élevée. Les sondages effectués ont l'avantage de limiter le risque de percement des cuves et des réseaux.

Des investigations supplémentaires ont été effectuées le 20/07 au niveau de la cuve de vidange située au nord du site, sous la plateforme de lavage et de vidange.

Dans le rapport de diagnostic, la présence de cette cuve d'huile a été soulignée. Des suintements ont été constatés à partir de cette cuve. Le client a donc demandé des investigations supplémentaires autour de cette cuve, afin d'évaluer son impact. 3 sondages ont été effectués dans la couche superficielle du sol à la tarière manuelle. L'emplacement de ces sondages est présenté sur la figure suivante.



Figure 10 : Localisation des sondages supplémentaires

Les hydrocarbures C10-C40 ont été mesurés sur ces trois échantillons. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

	P1	P2	P3
Profondeur des échantillons (m)	0,5	0,8	0,9
Indice hydrocarbure C10-C40 (mg/kg MS)	1800	1200	3600
Hydrocarbures C10-C12 (mg/kg MS)	< 50	< 20	< 20
Hydrocarbures C12-C16 (mg/kg MS)	< 50	< 20	< 20
Hydrocarbures C16-C21 (mg/kg MS)	160	81	220
Hydrocarbures C21-C35 (mg/kg MS)	1200	830	2700
Hydrocarbures C35-C40 (mg/kg MS)	260	250	590

Tableau 4 : Résultats analytiques des sondages supplémentaires

Pour les trois prélèvements, les concentrations en hydrocarbures C10-C40 sont supérieures au seuil d'acceptation des déchets inertes (500 mg/kg). Elles sont presque 4 fois supérieures pour P1, 2 fois pour P2 et 7 fois pour P3. On constate que la fraction majoritaire est la fraction C21-C35. Ces fractions représentent entre 66 et 75 % de l'indice total. Les hydrocarbures présents dans le sol sont plutôt à chaîne longue, peu volatils.

Ces investigations supplémentaires montrent que parfois plusieurs campagnes sont nécessaires pour évaluer l'impact d'un site. Les résultats présentent des concentrations plus élevées que pour la zone de distribution.

Le plan suivant présente une proposition pour les implantations complémentaires de la station de Schoelcher.

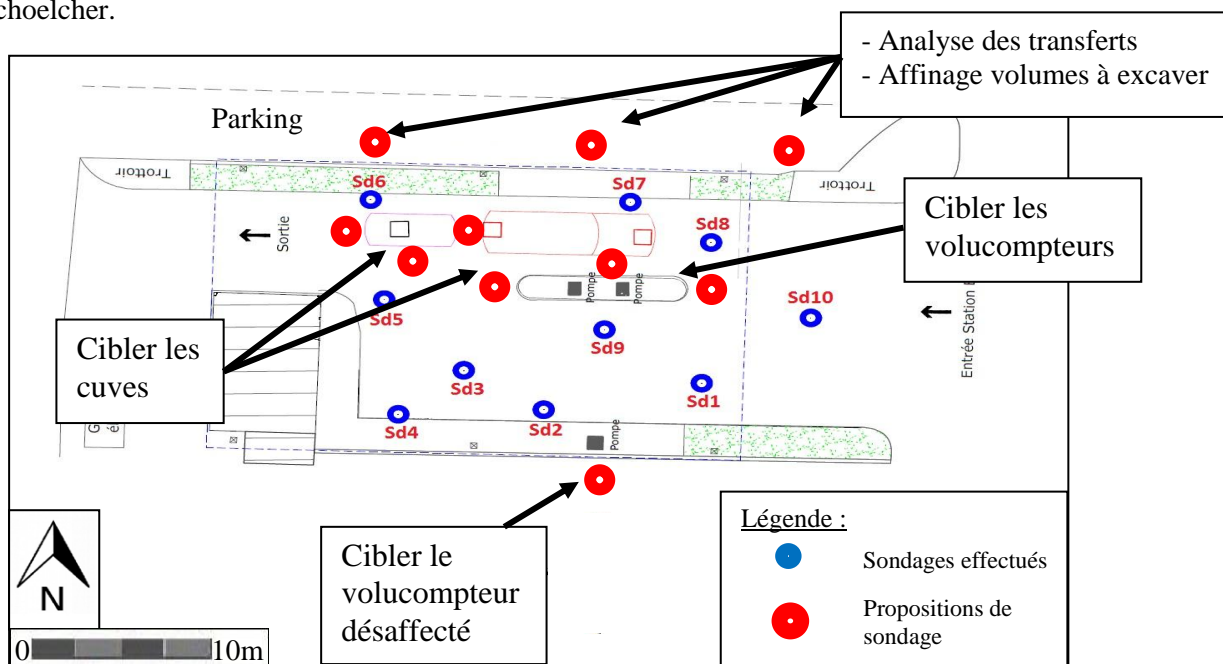


Figure 11 : Proposition complémentaire pour les implantations de Schoelcher

De la même façon que pour le Gros Morne, la disposition serait à adapter aux canalisations connues. La proposition ci-dessus permettrait également de se rapprocher des cuves et des volucompteurs afin de mieux appréhender leurs impacts. Elle permettrait également d'analyser l'impact des cuves au-delà du terrain de la station, au nord et au sud du site. Au nord, il serait notamment possible de voir s'il y a eu des transferts dans cette direction et d'affiner les volumes de terres à excaver. Au sud, il serait possible de voir si la pompe désaffectée au sud de la station est ou a été source de pollution.

Le plan suivant présente une proposition pour les implantations complémentaires de la station de Gourbeyre.

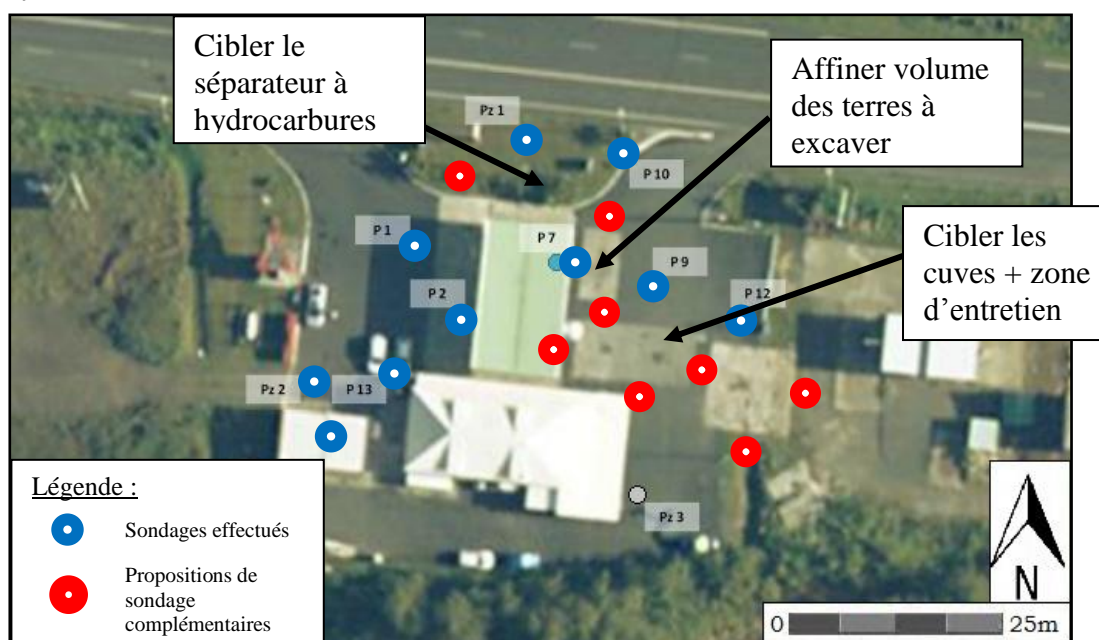


Figure 12 : Proposition de sondages complémentaires pour les implantations de Gourbeyre

Ces sondages complémentaires permettraient de comprendre plus précisément les sources de pollution, notamment pour les cuves à l'est de la zone de distribution. Le volume des terres à excaver pourra être affiné. Ils permettraient aussi de voir si la zone d'entretien des véhicules à l'est a des impacts sur le milieu. Dans ce cas, le nombre de sondage dépend essentiellement du choix du client, puisqu'à priori il n'y a pas de contraintes par rapport aux cuves ou aux canalisations. Néanmoins, les sondages complémentaires pourront être difficilement effectués par une pelle mécanique en raison du manque de place entre les fouilles pour l'accès de la machine.

4.1.2) Réalisation des sondages

De manière générale et plus particulièrement sur un chantier de ce type, la sécurité des opérateurs doit être préservée. L'exploitation de la station continue lors de la réalisation des sondages (sauf à Gourbeyre). Les véhicules et les clients de la station circulent sur le site. Ces circulations sont à contrôler et peuvent perturber le déroulement des sondages. Pour le Gros Morne et Schoelcher, les forages ont été réalisés successivement sur une voie puis sur l'autre. Cela a permis de laisser toujours une voie ouverte.

Il existe également des contraintes liées à l'environnement du site. Pour le Gros Morne, ces contraintes concernaient l'habitation du gérant et la proximité de la route. Pour Schoelcher, elles concernaient la présence du parking du centre commercial tout autour de la station. Pour Gourbeyre, elles concernaient la proximité de la route.

La configuration de la station peut également être une contrainte pour les sondages. La foreuse doit avoir la place pour passer et atteindre les points de sondage. Elle doit avoir la place en largeur mais également en hauteur. La station du Gros Morne comprend un auvent au dessus de la zone de distribution. Pour le point Sd4, la partie supérieure du bras de la foreuse a dû être démontée afin de pouvoir passer sous l'auvent. Pour la station de Gourbeyre, la pelle mécanique utilisée était de grande taille. Certains sondages n'ont pas pu être effectués en raison du manque d'espace pour manipuler cette pelle.

Il s'agit de trouver un compromis technico-économique pour permettre de respecter l'enveloppe financière du client et apporter suffisamment d'informations qualitatives.

4.1.3) Analyses en laboratoire

La spéciation des hydrocarbures n'a pas été faite pour chaque station. Pour Gourbeyre, les HCT ont été mesurés dans leur ensemble C10-C40 tandis que pour les deux autres stations, 5 différentes fractions ont été mesurées en plus de l'ensemble. De plus, pour Schoelcher, les indices aliphatiques et aromatiques ont été mesurés, avec 8 fractions. Les mesures des fractions permettent d'analyser la composition des HCT, si ceux-ci sont plus à chaîne carbonée courte ou longue. Cette analyse indique la volatilité des polluants.

Pour Schoelcher, les chromatogrammes des HCT ont également été demandés, afin de caractériser l'âge des polluants. Pour le Gros Morne, cette analyse complémentaire n'était pas nécessaire. Pour Gourbeyre elle aurait été utile puisque la pollution est conséquente et les volatils susceptibles de nuire.

Pour le Gros Morne et Schoelcher, le laboratoire d'analyse est situé en métropole. Les échantillons ont respectivement pris 4 jours et 6 jours pour être réceptionnés. Pour Gourbeyre, un laboratoire local a été choisi et les échantillons ont pris 4 jours pour être réceptionnés. La distance n'est pas une limite puisque les délais sont sensiblement les mêmes. Néanmoins, en réduisant les délais, la qualité des mesures serait augmentée. Les volatils peuvent rapidement être perdus.

4.2) Schémas conceptuels et plans de gestion

4.2.1) Réalisation d'un schéma conceptuel

La première étape suivant le diagnostic du site est la synthèse des résultats dans un schéma conceptuel. Afin de construire ce dernier, il s'agit d'identifier les sources de pollution, les vecteurs ainsi que les cibles et leurs voies d'exposition. Le site présentera un risque si ces trois éléments sont présents en même temps (sources, vecteurs, cibles).

4.2.2) Choix entre IEM et Plan de gestion

La seconde étape consiste à déterminer s'il faut effectuer une IEM (Interprétation de l'Etat des Milieux) ou un plan de gestion. Les stations-service sont des ICPE, soumises au minimum à déclaration. Dans les cas étudiés, il y a soit une remise en état pour un usage comparable, soit une cessation d'activité, soit une réhabilitation du site. Pour chacun de ces cas, un plan de gestion est directement requis (T. Quaranta, 2014). De plus, dans deux des trois études présentée, une pollution significative est présente sur site.

Le plan de gestion comprend les premières mesures de précaution, les propositions de mesures de gestion, le bilan coûts-avantages pour en valider une, et une analyse des risques résiduels (ARR). Les premières mesures de précaution sont des mesures de bon sens. Elles peuvent consister à clôturer la zone contaminée, la recouvrir pour éviter la dissémination, nettoyer les zones humides où les poussières peuvent s'accumuler, mettre en place des mesures d'hygiène, etc. (T. Quaranta, 2014). Les mesures de gestion peuvent être des dépollutions in situ ou hors site, des confinements, des dispositions constructives, des surveillances, etc.

Les mesures de gestion dépendent avant tout des procédés disponibles sur place, a fortiori en milieu insulaire, où toutes les techniques ne sont pas nécessairement disponibles.

4.2.3) Analyse du diagnostic du Gros Morne

4.2.4.1) Schéma conceptuel du Gros Morne

Pour le Gros Morne, la source de pollution est essentiellement constituée par des hydrocarbures en faible concentration. Les concentrations en HCT sont toutes inférieures au seuil de référence (minimum 2,5 fois plus faibles que le seuil) et aucun indice organoleptique n'a été identifié.

Il n'y a pas de vecteur possible par l'eau souterraine puisqu'elle est absente au droit du site. Les ruissellements de la zone de distribution sont récupérés par un système de collecte (caniveaux et avaloirs), mais les ruissellements hors de cette zone restent possibles. Le transfert des polluants volatils par l'air ambiant est limité par la présence de la dalle béton sur toute la surface de la station.

Les cibles potentielles dépendent de l'utilisation future du site. Si l'usage du site reste le même, les cibles sont toutes les personnes qui fréquentent la station, à savoir les employés (pompiers) et les clients, dans une moindre mesure. Hors site, aucune cible n'est identifiée du fait de l'absence de vecteurs.

Le schéma conceptuel suivant peut être construit (les échelles verticales et horizontales ne sont pas respectées).

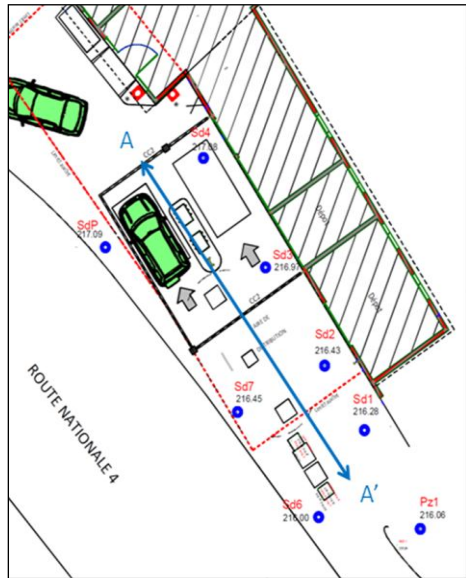


Figure 13 : Schéma conceptuel du Gros Morne selon la coupe AA'

4.2.4.2) Plan de gestion du site

Aucune mesure urgente de précaution n'est nécessaire car la concentration de polluant est faible et il n'y a absence de vecteur souterrain et présence d'une dalle béton. Pour les mêmes raisons, aucun traitement n'est obligatoire. Néanmoins des propositions sont possibles.

Ces propositions devront prendre en compte le fait que la station service n'aura à priori aucun moment d'arrêt. Elle subira peut être seulement un changement de propriétaire, mais continuera à fonctionner. La dalle béton n'a donc aucune raison d'être touchée.

Les procédés qui semblent le mieux adaptées à ce site sont l'atténuation naturelle contrôlée et la biodégradation dynamisée. Les caractéristiques principales de ces deux procédés sont résumées dans le tableau suivant (Source : www.selecdepol.fr et P. Roudier, 2005) :

Procédé	Traitement des hydrocarbures + BTEX	Matrice	Coûts	Délais	Moyens techniques	Rendement possible
Atténuation naturelle contrôlée	Oui	Eau + Sol	12 à 65 €/m ²	10 à 50 ans	Ouvrages de suivi	70 %
Biodégradation dynamisée	Oui	Eau + Sol	8 à 35 €/m ³	6 mois à 5 ans	Ouvrages et système d'injection	90 %

Tableau 5 : Bilan coûts-avantages pour le site du Gros Morne

L'atténuation naturelle est un processus naturel sans intervention humaine, via la dispersion, la dilution, la volatilisation, l'adsorption, les mécanismes de stabilisation ou de destruction des polluants (selecdepol.fr).

La biodégradation dynamisée vise à améliorer les conditions favorables à l'activité des microorganismes dégradant les contaminants, via l'ajout de composés spécifiques (selecdepol.fr).

L'atténuation naturelle semble appropriée à ce site. En effet, les concentrations de polluants sont très faibles et à priori n'évolueront pas. De plus, ces polluants n'ont pas d'impacts notables et les coûts doivent être minimaux. En outre, deux ouvrages de suivi sont déjà en place, à savoir les piézomètres PZ1 et SdP.

Il s'agit donc de laisser le sol en place et de laisser l'atténuation se faire naturellement. Un suivi sera à faire afin d'observer l'évolution des polluants, notamment les concentrations en hydrocarbures et en plomb, ainsi que le nombre de bactéries dans le sol et les paramètres nécessaires à leur bon fonctionnement.

4.2.4.3) Cas de la cuve de vidange

Les investigations supplémentaires au niveau de la cuve de vidange au nord du site ont révélé de fortes concentrations en hydrocarbures. Ces concentrations sont de 3 à 7 fois supérieures au seuil d'acceptation des déchets inertes. Il semble qu'il y ait eu des ruissellements à partir de la dalle béton située sous l'aire de lavage, vers l'ouest et vers le nord.

Des investigations plus en profondeur permettraient d'estimer précisément l'impact vertical des polluants. Des analyses supplémentaires en laboratoire (BTEX, HAP, métaux...) permettraient d'affiner la nature des polluants présents.

Des sondages à une altitude inférieure du talus permettraient de voir si les polluants ont migré vers le nord. Les sondages et l'étude géologique ont montré un sol riche en argile. La propagation des polluants dans le sol est à priori limitée par ces argiles. L'absence d'odeur d'hydrocarbures et la présence majoritaire de la fraction d'hydrocarbures C21-C35 laissent supposer des polluants peu volatils. Le vecteur aérien semble donc également limité.

Il existe peu de cibles potentielles car la cuve est placée sous la plateforme, dans un endroit très peu fréquenté. Seul les employés ou le propriétaire du site viennent de temps en temps pour des dépôts.

Pour dépolluer ce site, il s'agirait d'excaver le sol sur une distance d'au moins 1 m autour de la dalle béton et sur une profondeur d'au moins 1 m. Cependant le site n'est pas accessible par une foreuse mécanique ni par une pelle mécanique classique.

4.2.4) Analyses du diagnostic de Schoelcher

4.2.5.1) Schéma conceptuel de Schoelcher

La source de pollution de la station de Schoelcher se situe au niveau du point Sd7 à côté d'une des cuves de carburant, au nord du site, à priori dans le sable d'enrobage de la cuve. Cette source est principalement constituée par des hydrocarbures en fortes concentrations. A 2 m de profondeur, la concentration en HCT est de 10300 mg/kg MS, soit 20 fois plus que le seuil de référence. A 4 m de profondeur, la concentration en HCT est de 2800 mg/kg MS, soit plus de 5 fois le seuil de référence.

Le vecteur principal est l'air ambiant via la volatilisation des polluants. Ce mode de transfert est limité grâce au confinement dans le sol par la dalle béton. Il y a un risque de transfert par l'horizon saturé. Celui-ci semble également limité par l'absence de flux souterrain. En effet, la présence d'eau se limite à des poches d'eau dont la circulation et le renouvellement sont très faibles. La remontée d'eau dans PZ1 était inexistante et dans PZ2 elle était d'environ 3m après 20 jours. Le transfert vertical est limité par le substratum présent à environ 3 mètres au nord de la station.

Comme précédemment, les cibles potentielles dépendent de l'utilisation future du site. Le client souhaite récupérer l'emprise foncière de la station pour créer de nouvelles places de parking pour son centre commercial. Dans ces conditions, les cibles sont les utilisateurs du parking, à savoir les clients du centre commercial, donc tous types de public.

Le schéma conceptuel suivant peut être construit (les échelles verticales et horizontales ne sont pas respectées).

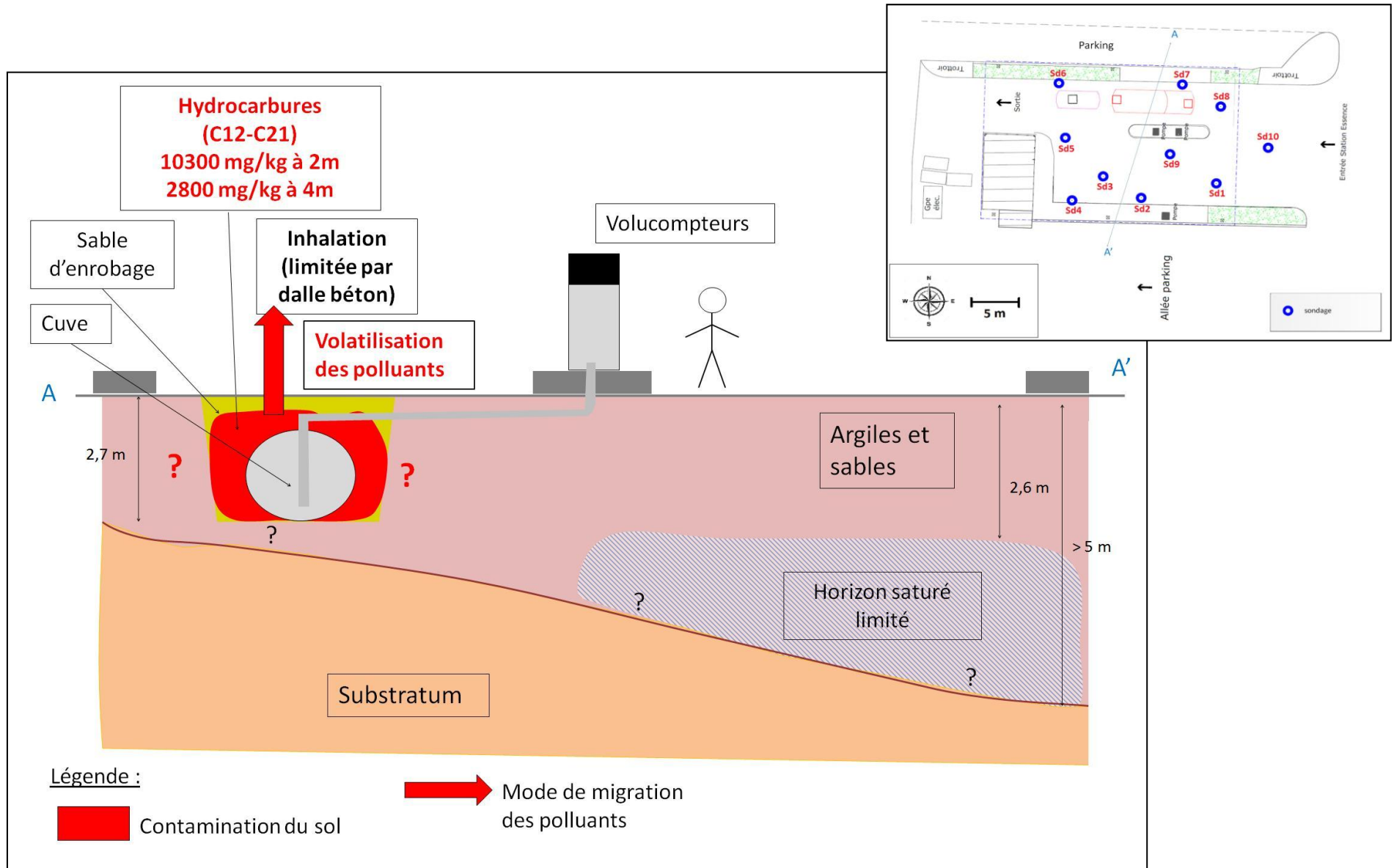


Figure 14 : Schéma conceptuel de Schoelcher selon la coupe AA'

4.2.5.2) Plan de gestion du site

La dalle béton maintient le confinement des polluants. En l'état, les polluants ne sont pas en phase de migration. Aucune mesure urgente de précaution n'est nécessaire.

Le changement d'usage de la station (parking) nécessite de traiter la pollution du site, car les concentrations sont fortes et dépassent les seuils de référence. La première opération à effectuer pour ce changement d'activité est d'enlever les cuves et les traiter dans un centre adapté. L'extraction des cuves sera précédée par une vidange, un nettoyage et un dégazage par aspiration. Un explosimètre sera utilisé pour détecter une éventuelle présence de résidus de gaz.

De part le contexte du site et son environnement, un traitement in situ n'est pas envisageable. Le démantèlement de la station est incontournable, et le traitement des cuves et des matériaux doit s'opérer dans des lieux de traitement spécifiques.

Le traitement qui semble être le plus adapté est un traitement hors site dans un centre spécialisé ou une installation de stockage de déchets dangereux.

L'excavation des terres polluées est la plus rapide pour supprimer une source de pollution (P. Roudier, 2005). En outre, la pollution se situe en surface (maximum à 3 m de profondeur) et dans notre cas les hydrocarbures sont moyennement lourds donc peu volatils.

De plus, si la station est transformé en parking, des travaux seront fait dans tous les cas, et il n'y aura plus d'encombrants bloquant les véhicules, ni de réseaux dans le sol.

Les caractéristiques principales de l'excavation sont décrites dans le tableau ci-dessous (www.selecdepoll.fr):

Procédé	Traitement des hydrocarbures + BTEX	Matrice	Coûts	Délais	Moyens techniques	Rendement possible
Excavation	Oui	Sol	50 €/m ³	50 à 200 m ³ /j	Pelles mécaniques	100%

Tableau 6 : Caractéristiques de l'excavation

L'efficacité du traitement dépend fortement de la précision des investigations. Il s'agit de savoir exactement où se situe la pollution afin d'excaver l'ensemble des terres polluées. Pour la station de Schoelcher, des investigations au nord du site permettraient d'affiner le volume de terres à excaver.

L'excavation a lieu lorsque les infrastructures de la station ont été enlevées (dalle béton, volucompteurs, boutiques, canalisations).

Le principe de l'excavation est présenté sur la figure suivante :

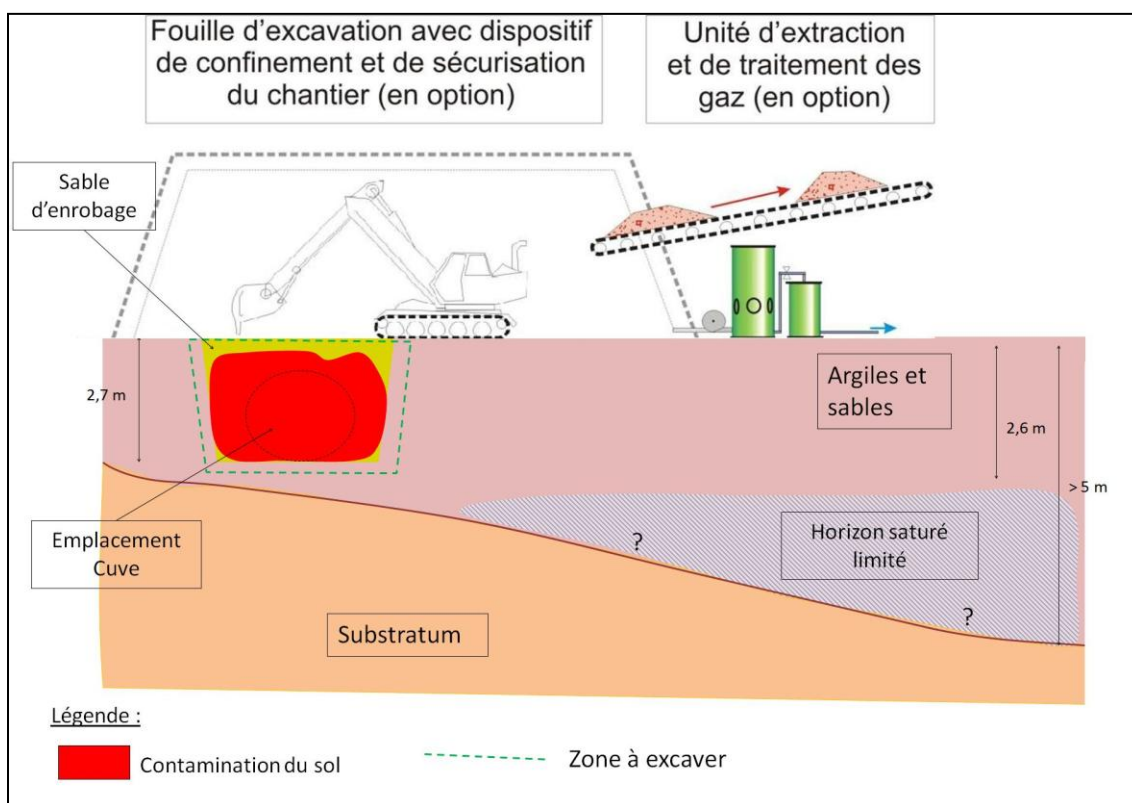


Figure 15 : Principe de l'excavation sur le site de Schoelcher

Afin de récupérer les gaz, il est possible d'effectuer l'excavation avec un dispositif de confinement et une unité d'extraction et de traitement des gaz.

Deux cuves sont présentes sur le site (10 000 et 6 000 litres). Les caractéristiques de ces cuves sont présentées dans le tableau suivant. On considère une excavation de 0,25 m autour de la cuve, sauf au dessus et en dessous (présence des dalles béton). Avec une densité de 2 pour les sols, les prix des excavations sont résumés ci-dessous.

Type de cuve	10 000 litres	6 000 litres
Dimensions	L=3,94 m ; Ø = 1,90 m	L=3,74 m ; Ø = 1,50 m
Volume cuve	11,17 m ³	6,61 m ³
Volume à excaver	9,08 m ³	6,11 m ³
Prix	9080 €	6100 €

Tableau 7 : Prix des excavations des cuves de la station de Schoelcher

Avec des délais de 50 à 200 m³/j, les deux volumes pourront être excavés en moins de 1 jour. La fouille est ensuite comblée avec du remblai en matériaux d'apport.

Il s'agit ensuite de traiter les terres dans un centre spécialisé de métropole. Il n'existe aucun centre pour les déchets dangereux dans les Antilles. Aux prix ci-dessus, il convient d'ajouter les prix du transport des matériaux et l'amenée-repli de la pelle mécanique.

Une analyse des risques résiduels devra être effectuée après traitement du site. Il est recommandé d'effectuer des analyses du sol au niveau des parois et du fond de la fouille avant le remblai. Les expositions résiduelles devront également être analysées. Les émanations potentielles devront notamment être mesurées.

4.2.5) Analyses du diagnostic de Gourbeyre

4.2.5.1) Schéma conceptuel de Gourbeyre

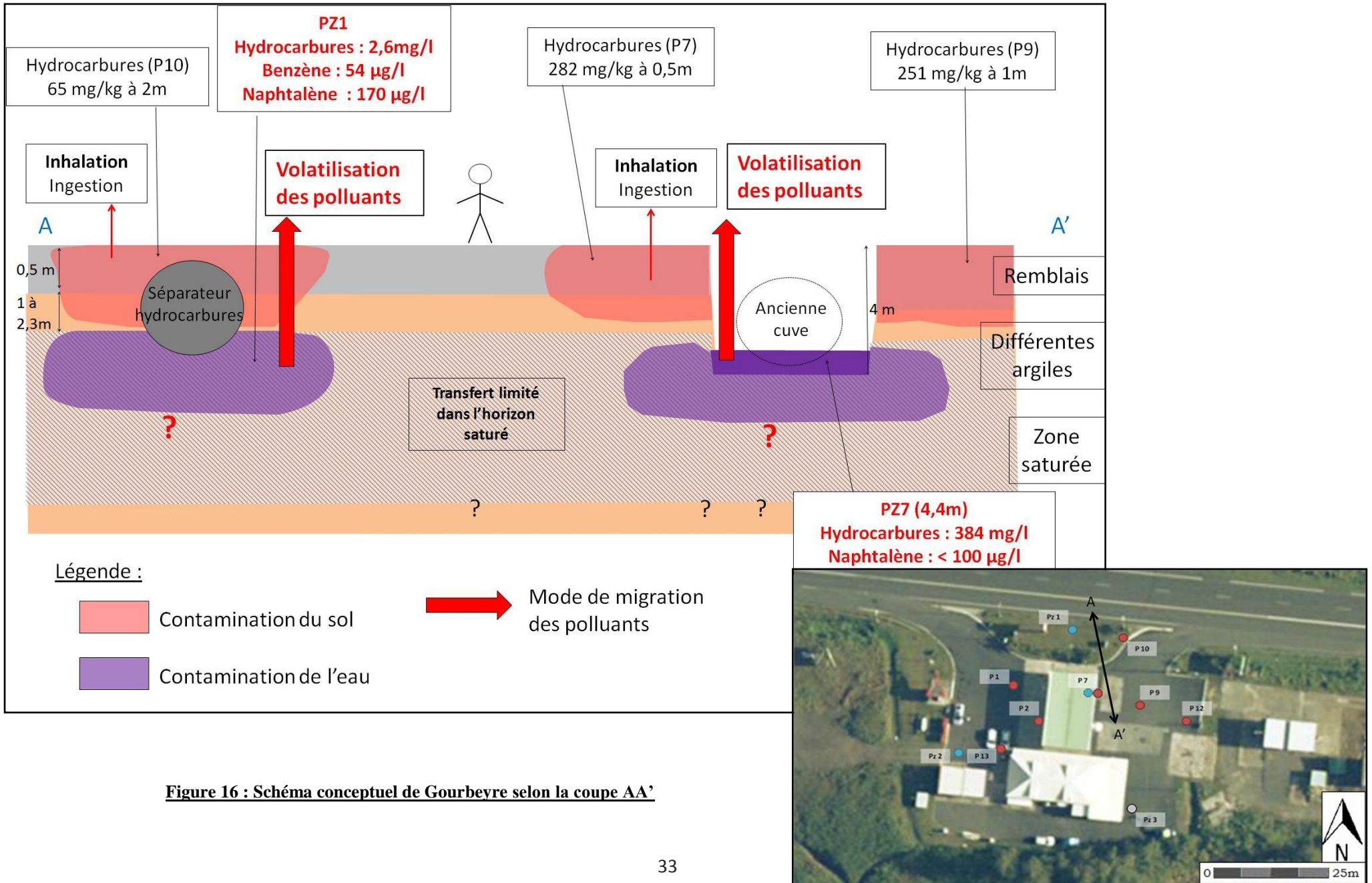
Les résultats des analyses de sol montrent des concentrations en HCT inférieures aux seuils de stockage des déchets inertes pour P7, P9 et P10. Les polluants restent concentrés dans la couche superficielle, entre 0 et 2m.

Les sources de pollution se situent principalement dans les eaux, au niveau de la fosse (PZ7) et au niveau du séparateur à hydrocarbures (PZ1). PZ1 présente des concentrations élevées en hydrocarbures (2,6 mg/l), en naphthalène (170 µg/l) et en benzène (54 µg/l). PZ7 présente des concentrations élevées en hydrocarbures (384 mg/l) et à priori en naphthalène (< 100µg/l).

Le vecteur principal est l'air ambiant via la volatilisation des polluants. Ce vecteur n'est pas limité par une dalle béton et peut donc avoir un impact fort. Les polluants peuvent être inhalé ou ingéré s'ils sont adsorbés à des poussières. Il existe un risque de transfert par l'eau souterraine puisqu'une zone saturée a été mise en évidence. Cependant ce flux est limité car la matrice est essentiellement constituée d'argiles. Aucun substratum rocheux n'a été mis en évidence jusqu'à 4,4 m de profondeur.

Les cibles potentielles sont tout le public passant par le site. Ces personnes peuvent être de tous les types, notamment des promeneurs ou des enfants qui jouent. La faune et la flore locales peuvent également être impactés.

Le schéma conceptuel suivant peut être construit (les échelles verticales et horizontales ne sont pas respectées).



4.2.5.2) Plan de gestion du site

Les mesures de précaution d'urgence seraient de clôturer les zones contaminées et les recouvrir (avec de la terre par exemple) afin d'éviter la dissémination, puisqu'il n'y a pas de dalle béton.

Le site n'a pas de contraintes structurelles puisque la station est désaffectée. Les cuves ont déjà été enlevées mais pas le séparateur à hydrocarbures. Il n'y a pas de contraintes par rapport aux populations puisque le site est situé hors zone résidentielle. Le traitement à mettre en œuvre dépend de l'usage futur du site.

La première étape de la dépollution est le démantèlement complet de la station, car il reste des infrastructures sur le site, comme le séparateur à hydrocarbures, l'ancienne boutique ou l'ancienne zone de lavage.

Si aucune activité n'est prévue, des traitements in situ peuvent être utilisés. Les traitements qui semblent possibles d'un point de vue technique sont le confinement par couverture et barrières, l'extraction double phase et le lavage in situ. Les caractéristiques de ces trois traitements sont résumées dans le tableau ci-dessous (www.selecdepol.fr et Roudier, P (2005).

Procédé	Traitement des hydrocarbures + BTEX	Matrice	Coûts	Délais	Moyens techniques	Rendement possible
Confinement par couverture et barrières réactives	Oui	Eau + Sol	Couverture <60cm : 5 à 20€/m ² Barrières : 75 à 200 €/m ²	Quelques mois pour 1 à 2 ha	Engins spécifiques	> 90 %
Extraction double phase	Oui	Eau + Gaz	25€/m ³ (moyenne pondérée)	4 à 18 mois	Réseau d'extraction et système de traitement	95%
Lavage in situ	Oui	Eau + Sol	30 à 200 €/m ³	Mois à années	Réseau d'extraction, et système de traitement et de stockage	50 à 80%

Tableau 8 : Bilan coûts-avantages des traitements in situ pour le site de Gourbeyre

Le confinement ne permet pas de traiter la pollution, mais seulement d'empêcher sa propagation. Ce traitement ne peut pas être utilisé pour tous les usages futurs du site. L'extraction double phase est bien adaptée à ce site, puisque la pollution est contenue dans la phase solide et liquide, mais c'est un traitement cher et qui ne traite que les gaz du sol et pas le sol lui-même. Le lavage in situ dépend de la perméabilité du sol. L'inefficacité du traitement augmente donc avec la quantité d'argile. Le sous sol du site comprend principalement de l'argile (dont la perméabilité n'est pas connue), donc le lavage in situ n'aura probablement pas son efficacité maximale. De plus, le rendement est inférieure aux deux autres. C'est également un traitement lourd en terme de moyens techniques.

De ces trois procédés, l'extraction double phase semble la plus intéressante, car le rendement est élevée, la pollution est réellement supprimée et les moyens techniques sont moyennement lourds. Il s'agirait de mettre en place un puits d'extraction au point PZ7 jusqu'à minimum 4 m de profondeur. (L'extraction est faisable jusqu'à 10m). Des investigations supplémentaires permettraient d'optimiser la puissance de l'extracteur. Selon l'évolution de la dépollution, si l'extracteur à PZ7 est insuffisant, un puits d'extraction au point PZ1 est également envisageable. Le volume est difficile à estimer au vu des investigations effectuées. Les zones qui sont à traiter sont présentées sur la figure suivante.



Figure 17 : Zone à traiter sur le site de Gourbeyre

Ces zones représentent environ 140 m² (source : Géoportail). Si on considère un prix de 25 €/m³ sur une profondeur de 4 m, le traitement coûterait 14 000 €. Cependant, la surface et la profondeur peuvent être affinées par des investigations supplémentaires, afin de réduire le coût.

Ces traitements ne sont pas nécessairement disponibles en Guadeloupe. Le traitement le plus simple et le plus rapide est l'excavation pour les terres en surface et le pompage pour les eaux souterraines.

L'excavation est préconisée pour les mêmes raisons que précédemment. De plus, à Gourbeyre, le site n'est plus en activité et est excentré, donc les travaux n'auront pas d'impact sur la population. La dalle béton et les cuves sont déjà absentes.

La fosse de la cuve de 30 000 litres a des dimensions d'environ 8*4*4 m. Si on considère une excavation de 0,5 m autour de cette fosse, le volume à excaver est de 86 m³. Avec les mêmes données que précédemment, on obtient un prix de 86 000 €.

Le volume du séparateur à hydrocarbures n'est pas connu. Bien que les sols ne semblent pas contaminés, il est recommandé d'excaver sur 2-3 mètres autour de celui-ci, à une profondeur de 3-4 m. Avec des investigations plus précises, il est possible de réduire la surface de traitement en ciblant la cuve et le séparateur.

Il s'agit également de pomper les eaux contaminées, aux points PZ1 et PZ7 selon la technique du « pump and treat ». Cette technique est adaptée aux pollutions par des hydrocarbures mais peut être de longue durée. Dans le cas de Gourbeyre, les polluants ne sont pas très sorbés puisqu'en profondeur il n'y a pas de pollution dans les sols. L'eau est pompée puis traitée ex situ ou rejetée dans le milieu naturel ou le réseau d'assainissement.

Une analyse des risques résiduels devra être effectuée après traitement du site. Il est recommandé d'effectuer des analyses du sol au niveau des parois et du fond de la fouille avant le remblai. Les expositions résiduelles devront également être analysées. Les émanations potentielles devront notamment être mesurées.

4.2.6) Synthèse des plans de gestion

Sur les trois stations d'étude, deux ont montré une pollution significative. La station de Schoelcher présente une forte concentration en hydrocarbures au niveau de la cuve de carburant. La station de Gourbeyre présente de fortes concentrations en hydrocarbures, en benzène et en naphthalène dans l'eau au niveau d'une cuve et du séparateur à hydrocarbures.

Une excavation des sols a été recommandée comme traitement de ces pollutions. C'est un traitement disponible, simple, rapide et avec une bonne efficacité. Cependant, des investigations supplémentaires permettraient d'affiner le volume des terres à excaver.

Ces études ont également montré que malgré l'existence des différents traitements de dépollution, il s'agit de faire des compromis technico-économiques (bilan coût / avantages / rendement du traitement). En effet, le choix des traitements dépend des solutions techniques en local. Une des spécificités des Antilles est justement de ne pas avoir tous les traitements disponibles.

5) Conclusion générale

Le projet de fin d'études est l'aboutissement de la formation d'ingénieur ENGEES spécialité ISIE. Dans ce sens, le stage réalisé chez Antea Group en Martinique a parfaitement répondu à mes attentes.

Ce stage m'a permis de découvrir et apprécier le travail en bureau d'étude. De plus, la taille restreinte de l'agence impose une certaine pluridisciplinarité à ses ingénieurs. J'ai pu travailler sur des projets dans mes deux spécialités, à savoir l'environnement et l'eau. Les ingénieurs d'expérience avec lesquels j'ai été en contact ont pu me transmettre une partie de leur expérience et de leur savoir faire, au bureau mais également sur le terrain.

Le diagnostic de sites et sols pollués était le sujet principal de mon stage. L'objectif est atteint puisque l'étude des stations service présentée dans ce rapport m'a permis d'approfondir mes connaissances sur ce thème. J'ai pu participer aux rédactions d'offre, aux investigations sur le terrain et à leur préparation, ainsi qu'à l'analyse des résultats et la rédaction des rapports de diagnostic.

J'ai également pu travailler sur d'autres projets concernant des forages d'eau profonds, une étude hydrogéologique et une étude de qualité de rivière. J'ai pu participer aux réunions terrain, aux investigations, à l'interprétation informatique et à la rédaction des rapports de synthèse et des dossiers loi sur l'eau. J'ai aussi pu découvrir la maîtrise d'œuvre au travers un projet de stabilisation de talus.

En définitive, ce stage est une réussite sur le plan professionnel et sur le plan humain. J'ai été confronté à des projets très intéressants, variés et enrichissants. Ce stage m'a beaucoup apporté techniquement et en terme de gestion de projet. Le fait de le faire en Martinique m'a également apporté sur le plan humain et culturel.

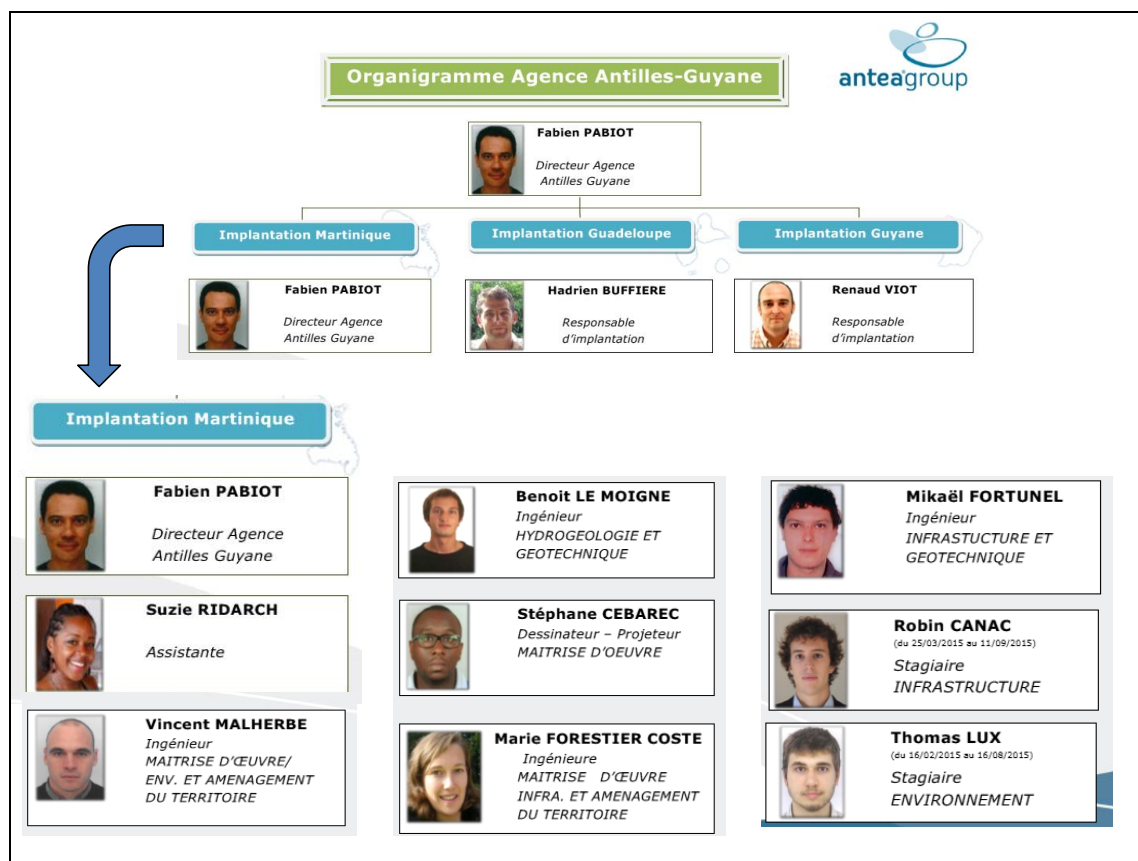
En conclusion, ces six mois ont été une excellente manière de clôturer ma formation et d'assurer la transition avec le monde professionnel en me donnant envie de poursuivre en tant qu'ingénieur d'étude et de projet dans une entreprise telle qu'Antea Group.

Bibliographie

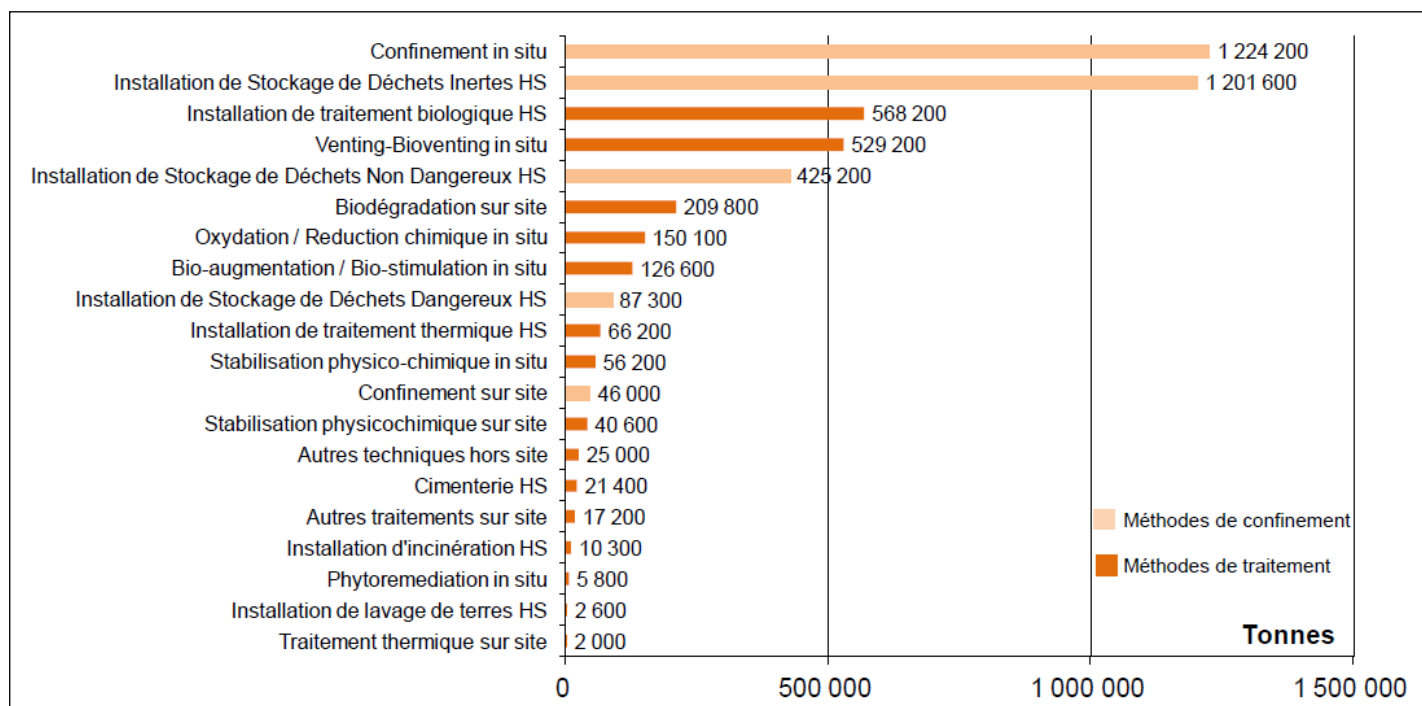
- BRGM (Décembre 2013). *Etude détaillée du fond géochimique des eaux souterraines de Martinique.*
- Cadière, F., & Masselot, G. (2012). *Taux d'utilisation et coûts des différentes techniques et filières de traitements des sols et eaux souterraines pollués en France. Synthèse des données 2010.*
- Gis Sol (2011). *L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols*
- Magasine Environnement & Technique n°289 (septembre 2009). *Terres excavées : en attendant la transcription de la directive cadre sur les déchets...* p. 45 à 47.
- Magasine Environnement & Technique n°316 (juillet-août 2012). *Réutilisation hors site de terres faiblement polluées : guide des bonnes pratiques.* p. 46 à 49.
- Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (2007). *Diagnostics du site.*
- Quaranta T. (2014) *Cours de diagnostic des sites et sols pollués.*
- Roudier, P (2005). *Techniques de réhabilitation des sites et sols pollués – Fiches de synthèse. Dossier Techniques de l'Ingénieur, c5582.*
- Site web www.selecdepoll.fr (dernier accès en juillet 2015) : « Outil interactif de pré-sélection des techniques de dépollution en fonction des différents paramètres opératoires ».

ANNEXES

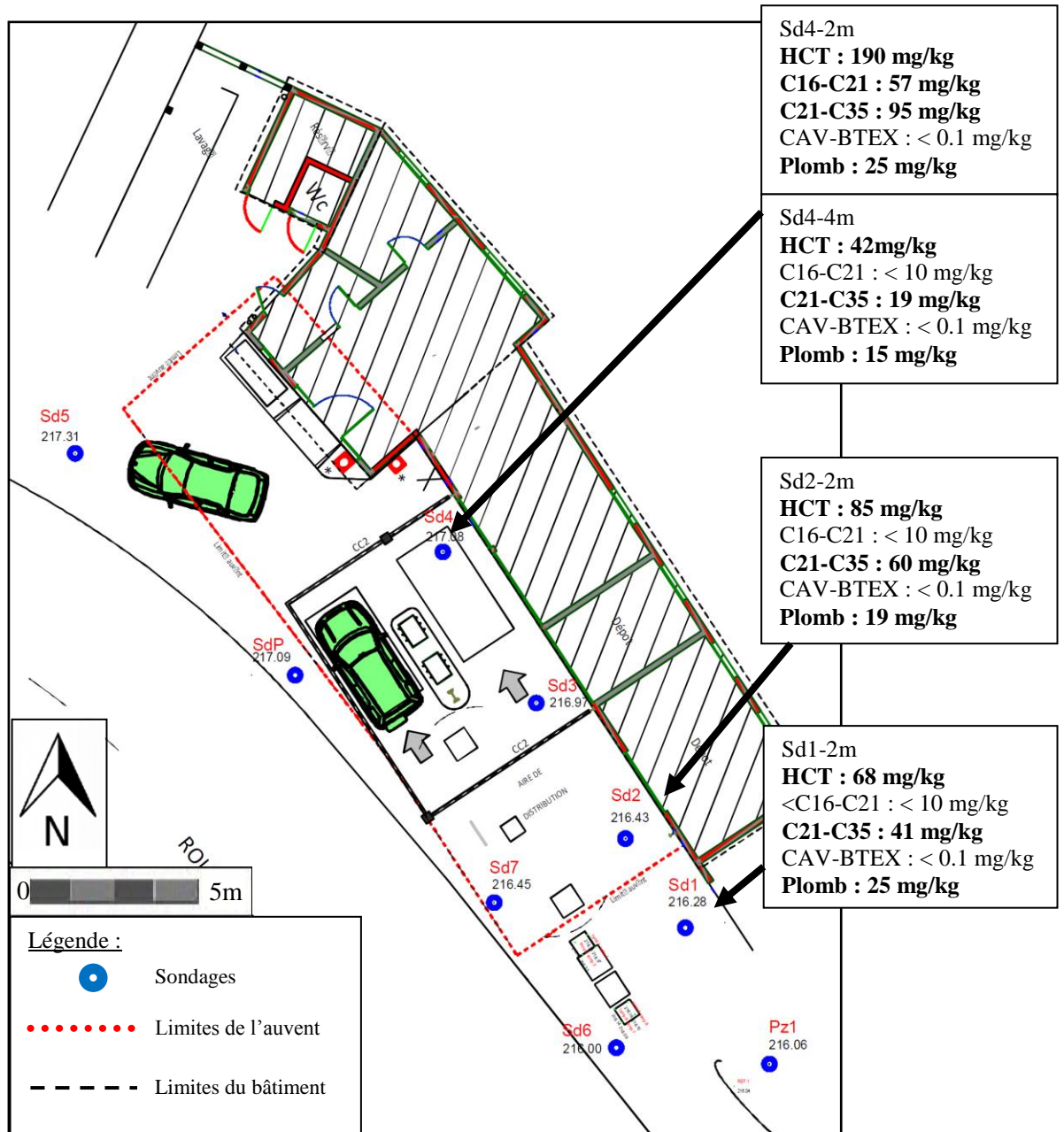
ANNEXE 1 : Organigramme de l'agence Antilles-Guyane, implantation de Martinique (2015)

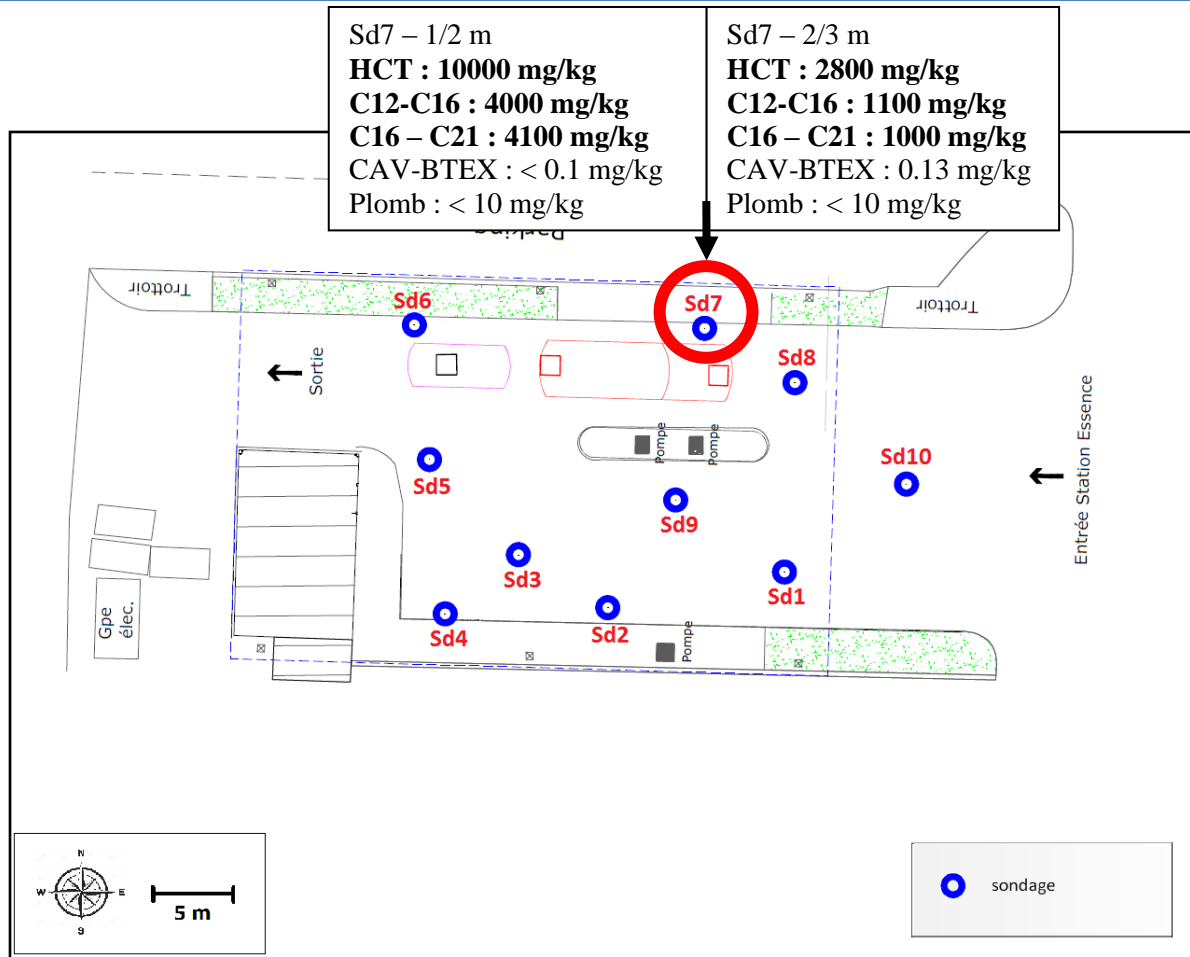


ANNEXE 2 : Classement 2010 des filières et techniques de traitement des sols pollués par tonnages décroissants (Cadière, F., & Masselot, G. ; 2012)

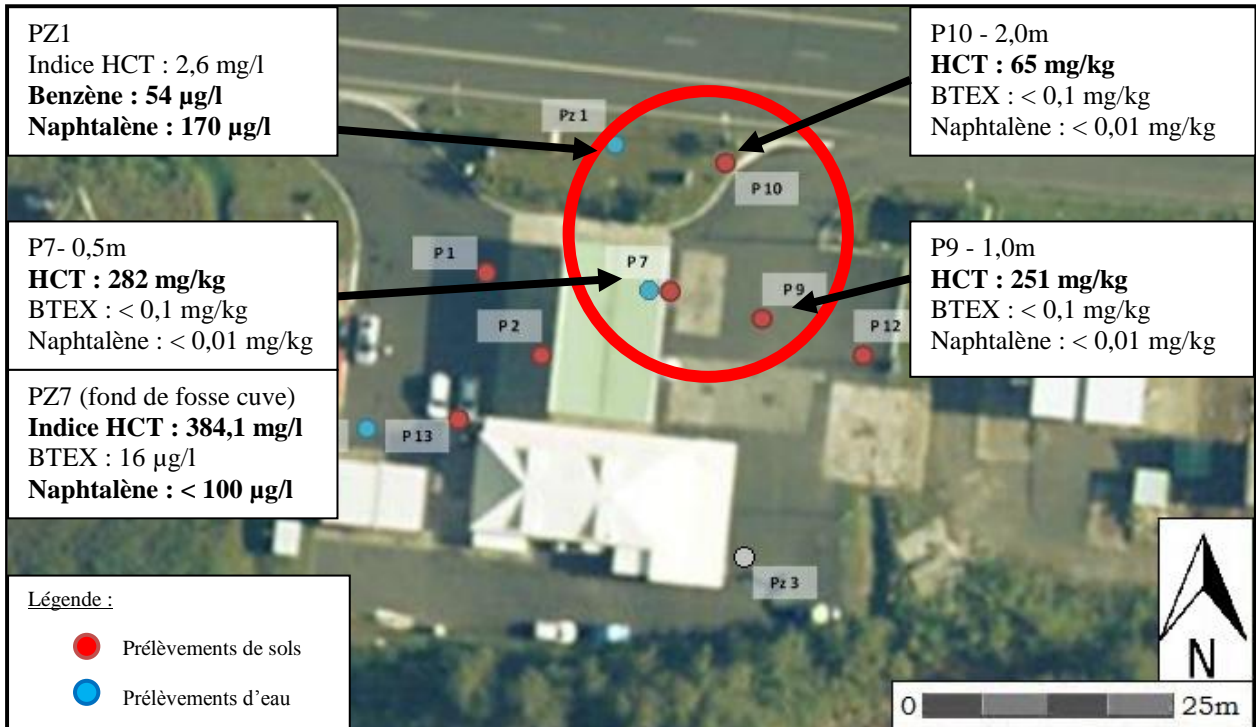


ANNEXE 3 : Localisation des points de pollution



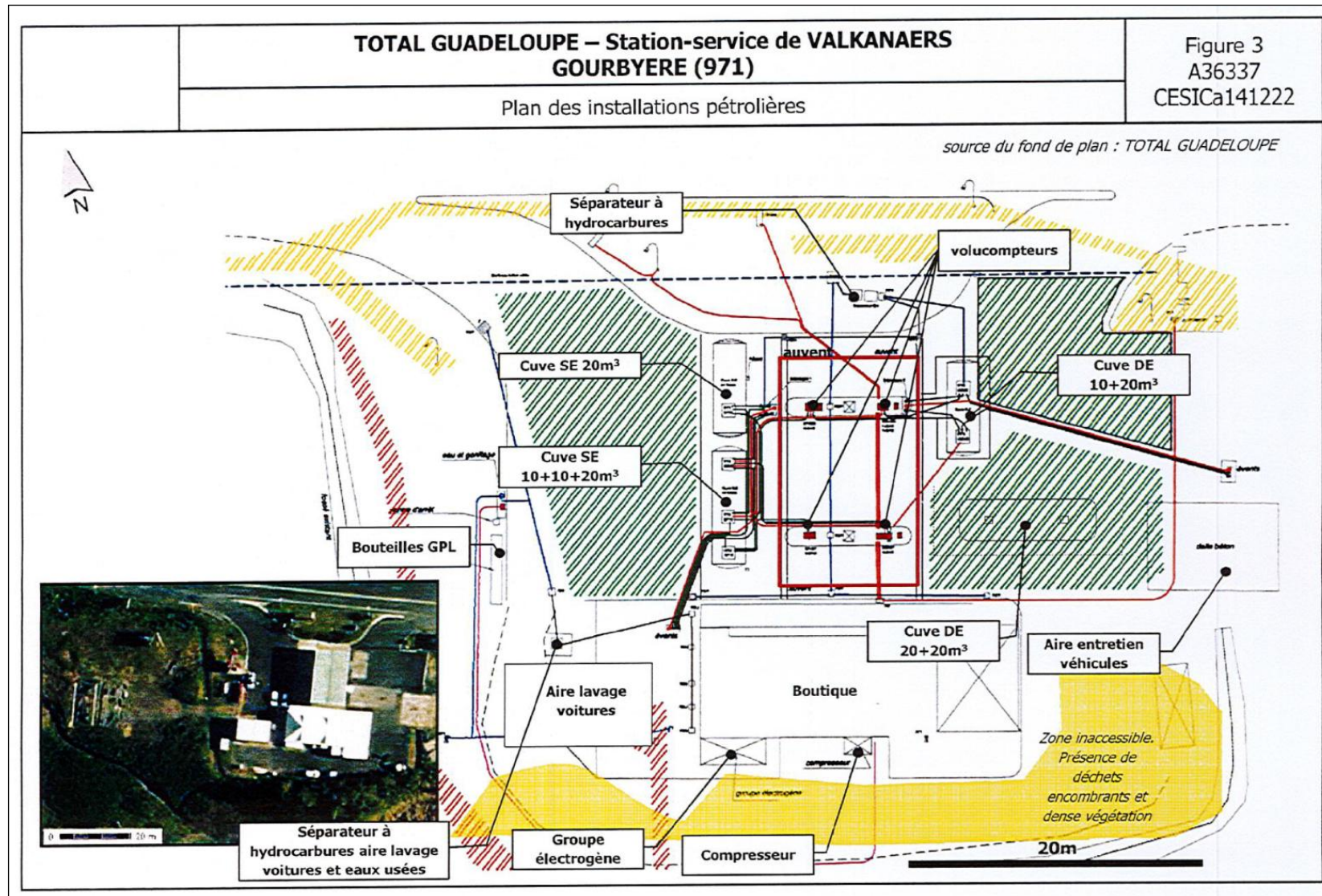


Localisation des points pollués sur la station de Schoelcher



Localisation des points pollués sur la station de Gourbeyre

ANNEXE 4 : Plan de masse de la station de Gourbeyre



ANNEXE 5 : Présentation succincte des principaux projets parallèles

1) Forages profonds pour l'irrigation

Dans le cadre du développement de l'irrigation des plantations de bananes et de cannes à sucre dans le Nord de la Martinique, Antea Group a été mandaté pour la reconnaissance des eaux souterraines de quatre sites. Le but est de réaliser des forages d'exploitation pour alimenter des bassins d'irrigation.

Pour chaque site, le contexte géographique, hydromorphologique, géologique et hydrogéologique a été étudié. Un modèle géologique et hydrogéologique a été défini afin d'optimiser l'implantation des forages. Ces forages ont été implantés dans le flanc nord-est de la Montagne Pelée.

A ce jour, le premier site s'est vu implanter un forage de reconnaissance (150 m) et un forage d'exploitation à proximité (160 m). Sur les deux sites suivants, les forages de reconnaissance ont été transformés en forages d'exploitation. Le dernier site, initialement jugé moins favorable d'un point de vue hydrogéologique, a fait l'objet d'un premier forage de reconnaissance (160 m) qui s'est révélé non productif. Un deuxième forage de reconnaissance sur ce site débutera courant août.



Forage sur le site de Perpigna

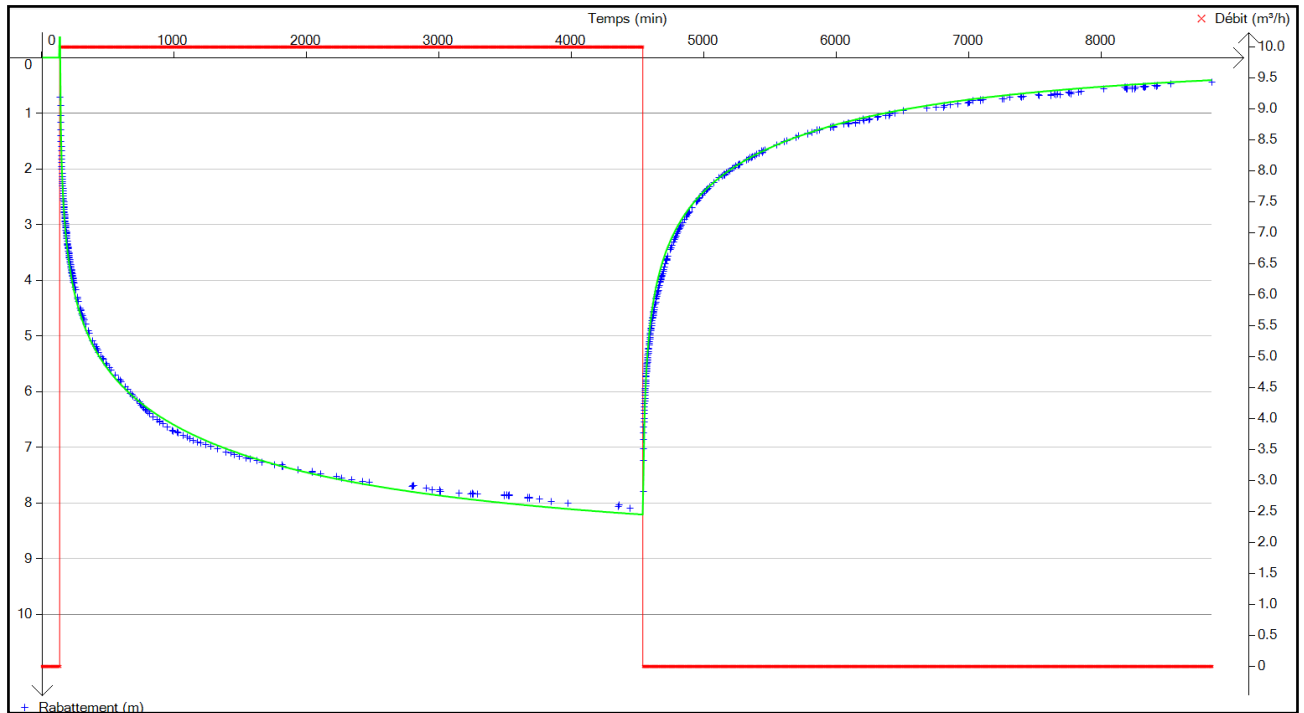
Les différents forages qui ont été effectués sont résumés dans le tableau suivant.

Site :	Forage de reconnaissance		Forage d'exploitation	
	Profondeur	Pompages	Profondeur	Pompages
Chéneaux	150 m	- Par paliers (5 ; 7,5 et 10 m ³ /h)	160 m	- Paliers de 6 ; 9 ; 12 et 20 m ³ /h - Essai de nappe 72 h - De développement : 4 et 8 h, cycles marche/arrêt
Perpigna	133 m	- Estimation de débit par soufflage	Transformation du forage de rec. 150 m	- Développement : 8h, cycles marche/arrêt, 47 m ³ /h - Paliers de 20 ; 30 et 46 m ³ /h - Essai de nappe 48 h
Potiche	145 m	- Essai de nappe 73 h	Pas de transformation	
Beauséjour	160 m	-Forage non productif -Rebouché dans les règles de l'art		
	Travaux en août 2015			

Résumés des forages et des pompages effectués

Des pompages de développement, par paliers et de longue durée ont été effectués. Afin d'évaluer les débits d'exploitation et les caractéristiques hydrogéologiques, le logiciel OUAIP a été utilisé (OUtil d'Aide à l'Interprétation des Pompages). Il s'agit de caler la courbe calculée par le modèle avec la courbe mesurée. L'équation de Theis a été utilisée.

La figure suivante présente un exemple de calage sur ce logiciel.



Résultats du calage des paramètres hydrodynamiques du pompage sur le forage PR1 (En rouge : débits enregistrés, en bleu : rabattement mesurés ; en vert : modèle hydrogéologique)

Les paramètres de calage du modèle analytique (transmissivité, coefficient d'emmagasinement, présence de limite alimentée ou étanche) ont pu être déterminés. Les pompages ont permis de déterminer le débit d'exploitation durable des forages.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau ont été suivis à la foration et au cours des essais de pompage.

Des recommandations sur la position de la pompe dans le forage et sur les durées d'exploitation ont été faites. L'incidence des scénarii d'exploitation sur la ressource a également été mise en évidence.

2) Reconnaitances géologiques et hydrogéologiques pour captage d'eau

Dans le cadre de la construction d'une usine de production d'énergie par cogénération, Antea Group a été missionné pour étudier les possibilités d'approvisionnement en eaux des process (production d'eau déminéralisée et lavage des turbines) par prélèvement dans la nappe d'accompagnement de la rivière.

Les contextes géologique et hydrogéologique ont été caractérisés.

Six nouveaux piézomètres ont été forés à 15 m environ, en plus des six autres piézomètres déjà présents (étude précédente). Ces piézomètres sont situés dans les dépôts récents de mangrove (vase et tourbe riche en matière organique).

Deux pompages longue durée ont été réalisés, le premier de 48 h (11-13/05/2015) et le second de 16 jours (du 30/06 au 15/07/15).

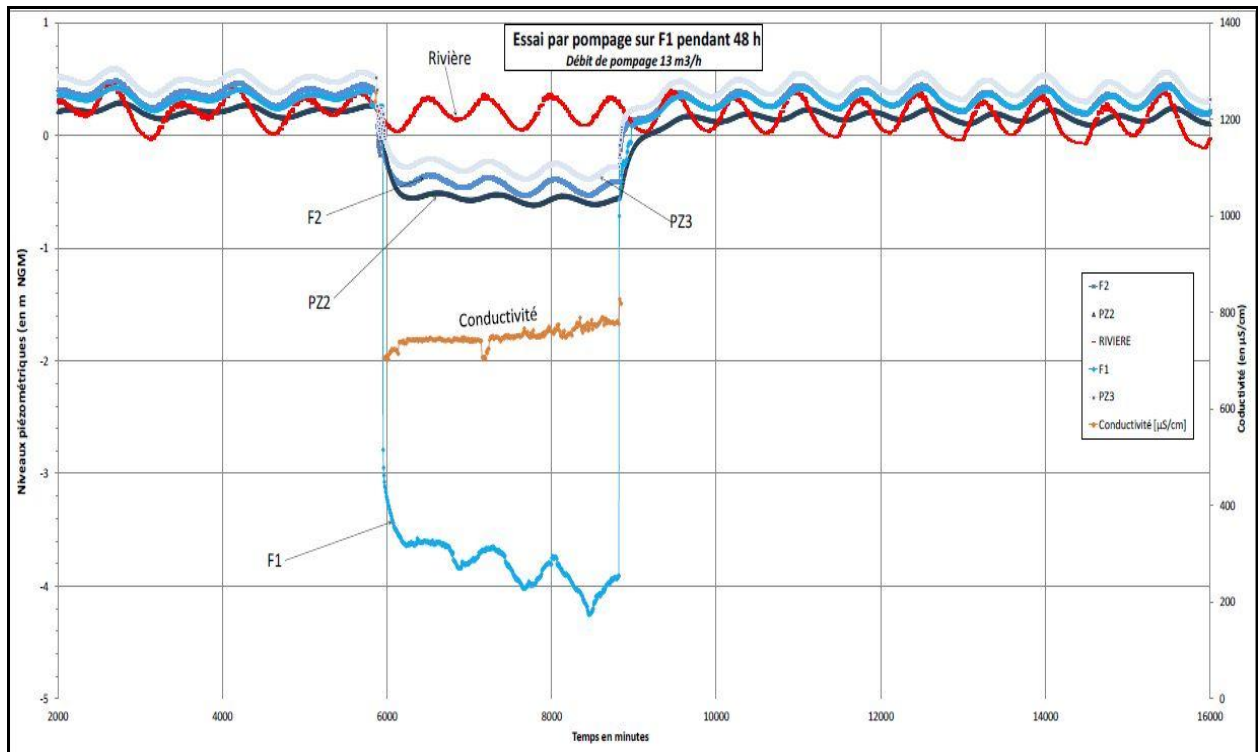
Le niveau piézométrique a été relevé à l'aide de sondes enregistreuses. Des mesures manuelles ont été réalisées régulièrement, afin de caler les enregistrements (cf photographie ci-contre). Les paramètres physico-chimiques pH, conductivité et température ont également été suivis à la foration et en cours de pompage.



Mesure manuelle de la piézométrie

L'évolution de la conductivité indique notamment si on pompe dans la rivière à proximité, le site se trouvant à 600 m du trait de côte et à proximité immédiate d'une rivière salée. Des profils de conductivité longitudinale et transversale de la rivière ont été réalisés.

Pour le pompage de 48 h par exemple, l'évolution des niveaux dynamiques était la suivante.

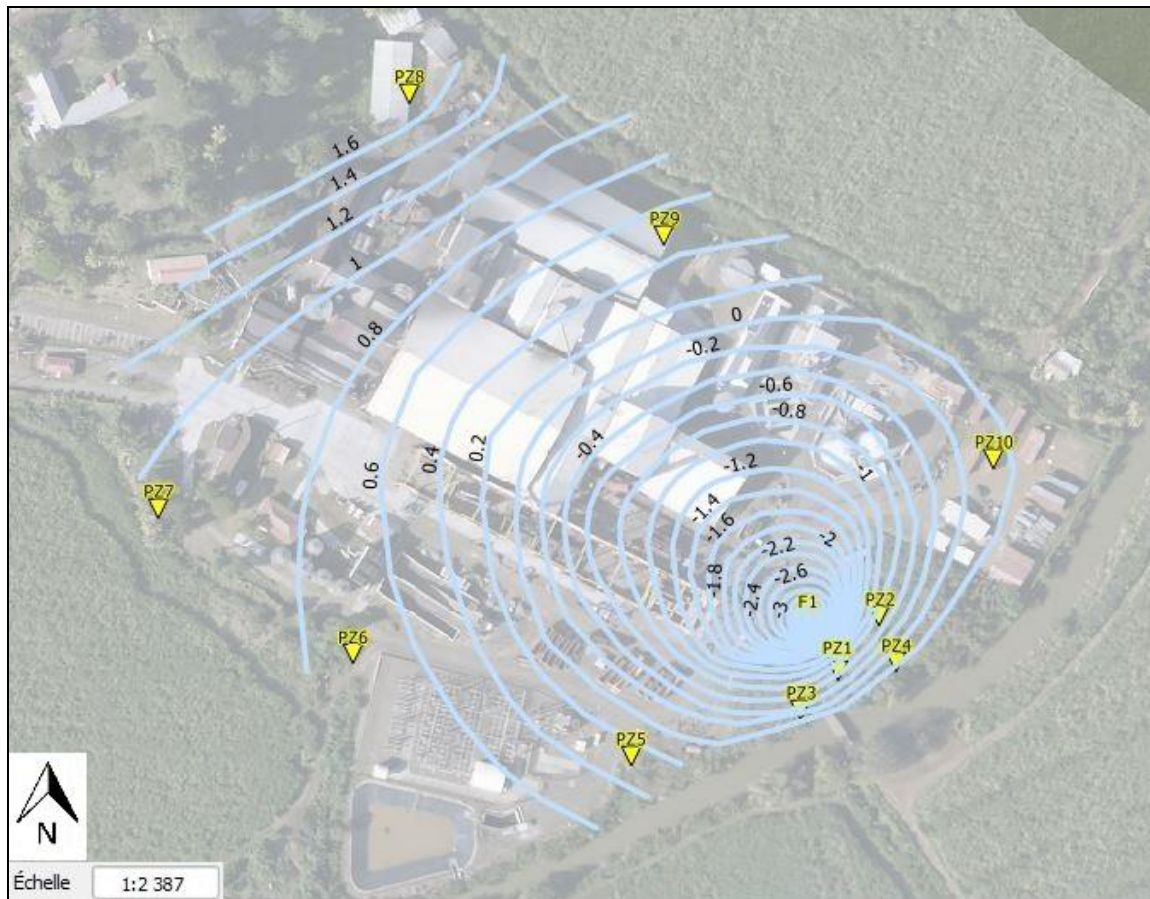


Evolution des niveaux dynamiques lors de l'essai de pompage 48h dans F1

Les données ont été interprétées grâce au logiciel OUAIP afin de calculer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère du site.

A l'aide du logiciel QGIS, les cartes piézométriques à différents instants ont pu être construites (avant, pendant et après pompage). Ces cartes ont permis d'apprécier l'effet du pompage sur l'aquifère. Le but était de comprendre les chemins préférentiels des flux souterrains.

La figure suivante présente un exemple de carte piézométrique.



Carte piézométrique après 16 jours de pompage dans F1 (1 heure avant arrêt du pompage)

Les logs de conductivité ont été réalisés dans les piézomètres afin d'observer l'évolution du front salin soumis à l'influence du pompage. La conductivité le long de la rivière a également été mesurée afin de voir l'emplacement du biseau salée. Le tassement engendré par le rabattement a aussi été suivi.