

PWE1548

DECEMBRE 2015

- LE NICKEL SLN -

Site de la future centrale électrique de Doniambo

**DIAGNOSTIC DE LA QUALITE DES SOLS
PLAN DE GESTION**



Titre du rapport : **Site de la future centrale électrique de Doniambo –Diagnostic de la qualité des sols et plan de gestion**

Référence : **PWE1548**

Date : **Décembre 2015**

Statut : **RAPPORT FINAL**

Auteur : **Pascal WUSTMANN**

Nombre de volumes : 1

Nombre de pages de texte : 156

Nombre de figures : 7

Nombre d'annexes : 6

établi pour le compte de :

Propriétaire du rapport (Nom ou raison sociale) : **Société Le Nickel - SLN**

Coordonnées complètes : 2, rue Desjardins
Doniambo
B.P.E5
98848 NOUMEA Cedex

Interlocuteur : **F. BART**

Modalités de diffusion

SLN : 1 exemplaire PDF

SOMMAIRE

1. - INTRODUCTION	10
2. - CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	11
2.1. - SITUATION GEOGRAPHIQUE	11
2.2. - CONTEXTE GEOLOGIQUE	11
2.3. - CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE	15
2.4. - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	15
2.5. - CONTEXTE OCEANOGRAPHIQUE	17
3. - ETUDE HISTORIQUE	18
3.1. - CONSTITUTION DE LA PLATEFORME	18
3.2. - ACTIVITES EXERCEES SUR LA ZONE DE PROJET	20
3.2.1. - Contexte général	20
3.2.2. - Le parc à ferrailles	20
3.2.3. - Le parc à boues	22
3.2.4. - Autres activités historiques de la zone de projet	25
3.2.5. - Activités historiques potentiellement polluantes à proximité de la zone de projet	27
3.3. - SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION	27
3.3.1. - Identification des sources potentielles de pollution	27
3.3.2. - Substances associées aux sources potentielles de pollution	29
3.3.3. - Propriétés physico-chimiques des substances associées	29
3.3.4. - Evaluation de la mobilité des substances dans les sols et les eaux souterraines	32
3.4. - CIBLES POTENTIELLES	33
4. - INVESTIGATIONS REALISEES	34
4.1. - STRATEGIE DES INVESTIGATIONS	34
4.1.1. - Stratégie initiale	34
4.1.2. - Investigations complémentaires	35
4.2. - RESULTATS DES INVESTIGATIONS : MESURES MAGNETIQUES	35
4.3. - RESULTATS DES INVESTIGATIONS : QUALITE DES SOLS	36
4.3.1. - Description des investigations réalisées sur les sols	36
4.3.2. - Observations de terrain	40
4.3.3. - Fond géochimique local	41
4.3.4. - Résultats des analyses de sols	48
4.4. - RESULTATS DES INVESTIGATIONS : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES	77
4.4.1. - Résultats des investigations successives	77

4.4.2. - Coupes et équipements des piézomètres	77
4.4.3. - Mesures de terrain et résultats des analyses	80
4.4.4. - Informations sur l'écoulement des eaux souterraines	85
4.4.5. - Interprétation des résultats des analyses d'eaux souterraines	89
4.5. - SYNTHESE DU DIAGNOSTIC DE LA QUALITE DES SOLS	91
4.5.1. - Les anomalies constatées sur la qualité des sols	91
4.5.2. - Les anomalies constatées sur la qualité des eaux souterraines	92
4.5.3. - Conclusions du diagnostic de la qualité des sols	94
5. - SCHEMA CONCEPTUEL DU SITE	95
5.1. - SYNTHESE DES ANOMALIES	95
5.1.1. - Localisation des anomalies	95
5.1.2. - Substances associées aux anomalies	95
5.2. - DESCRIPTION DES SUBSTANCES ASSOCIEES AUX ANOMALIES	96
5.2.1. - Les hydrocarbures totaux	96
5.2.2. - Les HAP	97
5.2.3. - Les PCB	100
5.2.4. - Les métaux	101
5.2.5. - Résumé des Propriétés physico-chimiques	103
5.2.6. - Les voies de transfert et les milieux d'exposition possibles	104
5.2.7. - Inventaire des cibles	105
5.2.8. - Voies d'exposition	106
5.2.9. - Modes d'exposition et schéma conceptuel	108
5.2.10. - Valeurs toxicologiques de référence	110
5.3. - HIERARCHISATION DES ANOMALIES	115
5.3.1. - Objectif de la hiérarchisation	115
5.3.2. - Rappel des anomalies identifiées	115
5.3.3. - Conclusions sur les anomalies identifiées	123
6. - PLAN DE GESTION	124
6.1. - GENERALITES	124
6.1.1. - Objectifs	124
6.1.2. - Le bilan coûts-avantages	126
6.2. - BILAN COUTS-AVANTAGES	126
6.2.1. - Techniques de gestion envisageables	126
6.2.2. - Options de traitement / valorisation envisageables	127
6.2.3. - Options de gestion envisageables	128
6.2.4. - Bilan coûts – avantages	129
7. - ANALYSE DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS (ARR)	137
7.1. - SCENARIO D'EXPOSITION	137
7.1.1. - Qualité des sols	137
7.1.2. - Scénario d'exposition	138

7.2. - EVALUATION DU RISQUE PAR INGESTION DE SOLS	140
7.2.1. - Dose journalière d'exposition (DJE) et approche du risque	140
7.2.2. - Concentrations d'exposition au milieu sols	141
7.3. - EVALUATION DU RISQUE PAR INHALATION DE VAPEURS	141
7.3.1. - Concentration d'exposition et approche du risque	141
7.3.2. - Concentrations d'exposition au milieu air	142
7.3.3. - Calcul du quotient de danger	144
7.3.4. - Calcul de l'excès de risque individuel	146
7.4. - ANALYSES DES RISQUES RESIDUELS	149
7.4.1. - Stratégie de l'étude	149
7.4.2. - Synthèse des résultats des calculs de risque	150
7.4.3. - Mesures complémentaires pouvant être mises en œuvre	151
7.4.4. - Discussion relative aux incertitudes	151
8. - CONCLUSIONS	154

FIGURES HORS TEXTE

Figure 1 :	Localisation du site
Figure 2 :	Contexte géologique
Figure 3 :	Localisation des piézomètres du site SLN
Figure 4 :	Plans de localisation des sondages
Figure 5 :	Localisation des piézomètres du secteur d'étude
Figure 6 :	Localisation des anomalies
Figure 7 :	Proposition de réseau de surveillance des eaux souterraines

ANNEXES

Annexe 1 :	Coupes des sondages
Annexe 2 :	Coupes des piézomètres
Annexe 3 :	Bordereaux des analyses de sols
Annexe 4 :	Bordereaux des analyses d'eau
Annexe 5 :	Glossaire
Annexe 6 :	Détails des modèles utilisés pour les calculs des concentrations d'exposition

Résumé non technique

Les politiques publiques en matière de sites et sols pollués s'appuient sur la méthodologie nationale définie par la circulaire du 8 février 2007 relative aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués. Le choix retenu est une politique de gestion du risque selon l'usage, celle-ci s'effectue en deux étapes :

- la constitution du schéma conceptuel qui est un bilan factuel de l'état du milieu ou du site étudié et qui permet d'appréhender les relations entre :
 - les sources de pollution ;
 - les différents milieux de transfert et leurs caractéristiques, ce qui détermine l'étendue des pollutions ;
 - les enjeux à protéger : les populations riveraines, les ressources naturelles à protéger.
- La mise en œuvre des actions complémentaires :
 - la mise en œuvre d'éventuels études ou diagnostics complémentaires qui s'avèrent nécessaires pour s'assurer que l'état des milieux hors du site est compatible avec des usages déjà fixés ;
 - l'élaboration d'un plan de gestion lorsque la situation permet d'agir aussi bien sur l'état du site (par des aménagements ou des mesures de dépollution) que sur les usages qui peuvent être choisis ou adaptés, après discussion entre l'exploitant et l'inspection des installations classées
 - le plan de gestion doit viser en premier lieu à la suppression des sources de pollution et de leurs impacts, quand ces sources de pollution sont des pollutions concentrées (flottants sur les eaux souterraines, terres imprégnées de produits, produits purs, ...)
 - quand la suppression totale des sources de pollution n'est pas possible, il est nécessaire de garantir, à l'issue d'une démarche d'établissement d'un bilan « coûts-avantages » que les impacts provenant d'une pollution résiduelle sont maîtrisés et acceptables tant pour les populations que pour l'environnement. Sur ce point, l'arbitrage entre les différentes options de gestion possible doit se faire au regard des perspectives de développement durable et de bilan environnemental global. L'objectif est d'atteindre le meilleur niveau de protection de l'homme et de la nature en évitant de mobiliser des ressources disproportionnées au regard des intérêts à protéger. Il n'est donc pas toujours utile d'excaver des terres polluées présentes sur un site quand des solutions alternatives comme le traitement sur place ou le confinement des pollutions peuvent être proposés.
 - Lorsque les caractéristiques du plan de gestion ne permettent pas de supprimer toutes les possibilités de contact entre les pollutions et les personnes, les risques potentiels liés aux expositions résiduelles doivent être évalués et appréciés. L'analyse des risques résiduels est l'outil dédié à cet effet. Le plan de gestion est acceptable dès lors que les critères d'acceptabilité sont respectés, et, afin de ne pas mobiliser de ressources disproportionnées au regard des enjeux à protéger, il est expressément demandé de ne pas retenir de critères d'acceptabilité autres que ceux

définis dans la méthodologie, du fait du caractère déjà intrinsèquement conservatoire de l'évaluation quantitative des risques. Les critères d'acceptabilité des niveaux de risque calculés sont ceux usuellement retenus au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé à savoir :

- Un quotient de danger (QD) théorique inférieur à 1 ;
- Un excès de risque individuel (ERI) inférieur à 10^{-5} ;

Dans le cadre du projet de cession du terrain par SLN à Doniambo Energie en vue de la construction de la centrale C sur le site industriel de Doniambo, la société SLN Le Nickel a fait réaliser un diagnostic de la qualité des sols de la zone concernée.

Conformément à la méthodologie nationale, ce diagnostic s'appuie sur une étude documentaire historique et environnementale ainsi que sur des investigations qui visent à lever les incertitudes relatives aux éventuels impacts qu'auraient pu générer les activités exercées jusque-là sur le site.

L'étude documentaire a indiqué que le site de 15 ha a été gagné sur la mer par apport de scories provenant de l'usine métallurgique entre 1971 et 1975.

Plusieurs activités ont été exercées sur la zone, dont certaines sont potentiellement polluantes. Il s'agit :

- d'un parc à ferrailles,
- d'un parc à boues,
- de stockages de transformateurs au PCB.

Du fait de la présence de sources potentielles de pollution, des investigations ont été réalisées sur les sols et les eaux souterraines dans le périmètre de la future centrale C de Doniambo discrétisé en 75 mailles de 40 m x 40 m. Au total, il a été réalisé :

- 133 sondages profonds de 4 m à la pelle
- 133 sondages profonds de 4 m à la tarière
- 334 analyses des hydrocarbures dans les sols
- 482 analyses des PCB dans les sols
- 86 analyses de métaux dans les sols
- 23 analyses d'HAP dans les sols
- 20 analyses de COHV dans les sols
- 11 piézomètres provisoires (puits de contrôle de l'eau souterraine) d'une profondeur pouvant atteindre 10 m
- 4 campagnes de contrôle des eaux souterraines sur les piézomètres provisoires
- 6 piézomètres définitifs de 10 m
- 1 campagne de contrôle sur les piézomètres définitifs
- 36 analyses d'hydrocarbures et métaux dans les eaux souterraines
- 28 analyses de PCB dans les eaux souterraines
- 17 analyses d'HAP dans les eaux souterraines,
- 8 analyses de COV dans les eaux souterraines.

Ces investigations ont indiqué que la qualité des sols présente localement des anomalies (métaux, hydrocarbures, HAP, PCB), et que les eaux souterraines sont polluées par les

hydrocarbures au droit d'un seul des piézomètres mis en place, les autres piézomètres indiquent que l'anomalie sur les eaux souterraines est très localisée.

- Les anomalies en métaux sont diffuses, peu significatives, et principalement situées au droit du parc à ferrailles.
- Les anomalies en hydrocarbures sont diffuses, avec notamment la présence d'une pollution concentrée au sud-est du parc à boues.
- Les HAP concernent essentiellement une pollution concentrée ponctuelle au droit du parc à boues.
- Les PCB ont été mesurés en concentrations significatives sur 4 points distincts situés dans une ancienne zone de stockage de transformateurs.

En cas d'anomalies avérées, la méthodologie nationale définie par les circulaires du 8 février 2007 prévoit la réalisation d'un plan de gestion du site dont l'objectif est :

- de supprimer les pollutions concentrées,
- d'établir une démarche coûts-avantages pour les autres sources de pollution
- de garantir que les sources de pollution résiduelles seront maîtrisées, et que les impacts résiduels seront acceptables tant pour les populations que pour l'environnement.

Dans le cas du site de la future centrale de Doniambo, la suppression des pollutions concentrées concernent :

- des sols renfermant une pollution concentrée aux HAP,
- des sols renfermant une pollution concentrée aux PCB,
- des sols renfermant une pollution concentrée aux hydrocarbures.

Ces pollutions doivent donc être éliminées. Les terres seront excavées avec traitement hors du site de la centrale C. Les terres contaminées aux hydrocarbures seront valorisées énergétiquement dans les fours de Doniambo.

Le plan de gestion a été réalisé sur la base de la faisabilité technique, du bilan coûts/avantages, et en prenant en compte l'usage industriel futur du site (exploitation de la future centrale électrique). Trois options ont été étudiées. Il s'agit :

- de l'option 1 qui consiste à supprimer toutes les anomalies
- de l'option 2 qui consiste à ne supprimer que les pollutions concentrées (hydrocarbures, HAP, PCB)
- de l'option 3 qui consiste à supprimer les pollutions concentrées (hydrocarbures, HAP, PCB) et recouvrir le site d'une couche de scories exemptes de pollution pour supprimer les expositions par ingestion et inhalations de poussières

Le bilan coûts-avantages indique qu'il n'est pas raisonnable d'envisager le traitement de toutes les anomalies du site, car :

- le bilan environnemental serait mauvais du fait de l'excavation de 100 000 m³ de scories, de leur traitement, et du transport hors site d'une grande part de ce volume pour l'élimination en installation de stockage, saturant ainsi les capacités du territoire,
- le bilan social serait mauvais du fait de la circulation des milliers de camions nécessaires à l'évacuation des terres et à la saturation des décharges existantes avec nécessité de créer de nouvelles capacités de stockage,
- le coût économique serait de l'ordre de 2,23 milliard XPF,

- du fait de son environnement, le site sera soumis à rester un site industriel, sans aucune valeur écologique supplémentaire (zone de remblais).

Le tableau suivant synthétise le bilan coût avantages des trois options évaluées.

Option	Coûts estimés (XPF)	Avantages	Inconvénients
Option 1	2 160 000 000	Suppression des sources Pas de servitudes	Coût Saturation des capacités des installations de stockage de déchets Circulation de poids lourds sur le territoire Emission importante de CO2 en phase chantier
Option 2	90 000 000 à 410 000 000	Coût	Maintien de sources et servitudes Exposition par inhalation de poussières et ingestion possible Servitude
Option 3	= Option 2 + 13 000 000	Suppression des expositions par inhalation de poussières et ingestion	Maintien de sources et servitudes

Le coût de l'option 2 est compris entre 90 et 410 millions XPF selon les seuils de dépollution qui seront retenus pour les hydrocarbures et les HAP. L'option 3 ne coûte que 13 millions XPF de plus que l'option 2, ce qui est raisonnable par rapport au bénéfice supplémentaire qu'elle procure, en supprimant les expositions par ingestion et inhalation de poussières. C'est l'option de gestion qui est retenue pour ce site.

L'option de gestion retenue est donc une solution visant à éliminer les pollutions concentrées en composés organiques (HCT, HAP, PCB) et à confiner l'ensemble du site avec des scories afin d'isoler les anomalies en métaux. Ce confinement permet la suppression des expositions par contact direct, ingestion et inhalation de poussières répondant ainsi à l'objectif de maîtrise des sources. En comparaison à la solution d'élimination de toutes les pollutions, cette solution présente :

- un bilan environnemental positif du fait de la remise en état d'une zone de remblaiement historique, principalement par valorisation énergétique des hydrocarbures,
- un coût de plus de 5 fois moindre que l'option d'élimination de toutes les pollutions pour un résultat équivalent en termes de possibilités d'occupation du site,
- l'avantage de mettre à disposition le site dans des délais compatibles avec sa valorisation pour un usage industriel dans le cadre du projet de construction de la centrale électrique,
- une logique avec la réalité technique qui ne permet pas le retour à l'état « 0 ».

Pour fixer les seuils de dépollution optimaux, les volumes de polluants extraits ont été comparés aux coûts d'extraction pour plusieurs cas de figure, à savoir :

- des limites de 10 000, 5 000 et 2 000 mg/kg pour les hydrocarbures,
- des limites de 20 et 10 mg/kg pour les PCB.

Les résultats de cette étude comparative sont présentés dans le tableau suivant.

Seuils de dépollution mg/kg	Quantité de terre de la tranche (t)	Coût total (millions XPF)	Coût de la tranche (millions XPF)	Masse totale de polluant extraite (kg)	Masse de polluant extraite pour la tranche (kg)	Coût unitaire de traitement de la tranche (XPF/kg)
HCT - 10 000	1 860	19,16	19,16	27 900	27 900	687
HCT - 5 000	2 865	48,67	29,51	49 388	21 488	1 373
HCT - 2 000	21 525	270,38	221,71	124 726	75 338	2 943
PCB - 20	585	70,38	70,38	59	59	1 203 000
PCB - 10	1 170	140,75	70,38	77	18	4 010 000

Nous constatons que les coûts unitaires exprimés en XPF par kg de polluant extrait augmentent sensiblement quand les seuils de dépollution diminuent. Pour les hydrocarbures, les coûts unitaires doublent quand le seuil de dépollution passe de 10 000 à 5 000 mg/kg, simultanément, le coût de traitement est multiplié par un facteur 2,5. Pour les PCB, quand le seuil de dépollution passe de 20 à 10 mg/kg, le coût unitaire est plus que triplé et atteint 4 millions XPF par kg de PCB extrait.

L'option 3 qui prévoit le maintien en place de sols impactés nécessite la réalisation d'une analyse des risques résiduels (ARR) qui permettra d'évaluer l'acceptabilité et l'option de traitement et des seuils de dépollution retenus. Le bilan coûts avantage indique que l'efficacité économique du traitement, exprimée en kilo de polluant extrait par million XPF, baisse rapidement quand les seuils de dépollution baissent. Il apparaît clairement que les coûts augmentent beaucoup plus vite que les avantages produits. Pour cette raison, il a été décidé de réaliser l'ARR sur la base des seuils de dépollution suivants :

- Hydrocarbures : 10 000 mg/kg
- PCB(7) : 20 mg/kg

L'analyse des risques résiduels (ARR) a été réalisée conformément à la méthodologie nationale pour quantifier le risque que représentent les pollutions maintenues sur place pour les personnes appelées à évoluer sur le site. Cette ARR a été réalisée pour 3 cas susceptibles de concerner le site, à savoir :

- une activité extérieure,
- une activité de bureau,
- une activité en atelier.

Dans les trois cas, l'ARR indique que les risques sont acceptables et sont conformes aux limites fixées par la méthodologie nationale. L'option de gestion retenue avec les seuils de dépollution évalués est donc acceptable au sens de la méthodologie nationale car elle permet de rendre le site compatible avec l'usage fixé.

Concernant la pollution des eaux souterraines, celle-ci sera éliminée par pompage des hydrocarbures présents après l'excavation des terres polluées de la zone, et traitée hors site.

Une surveillance des eaux souterraines sera à mettre en place pour ce site. Celle-ci a été définie et s'appuiera sur les piézomètres installés au terme du diagnostic et sur un ouvrage existant situé à proximité de la zone.

Aucune surveillance des eaux marines n'est proposée car ce milieu ne peut être atteint que via les eaux souterraines. Comme ces dernières ne sont actuellement pas impactées en limite du site de la centrale C, et qu'elles seront contrôlées à l'avenir, aucune surveillance complémentaire n'est nécessaire pour le milieu eaux superficielles.

Une servitude devra être établie pour empêcher la modification de l'usage du site sans que la compatibilité des terrains avec un éventuel nouvel usage ne soit préalablement évaluée.

1. - INTRODUCTION

Dans le cadre du projet de cession du terrain par SLN à Doniambo Energie en vue de la construction de la centrale C sur le site industriel, la société SLN Le Nickel a fait réaliser un diagnostic de la qualité des sols de la zone concernée.

Ce diagnostic a été réalisé conformément :

- À la norme NF X 31-620 partie 1 : Prestations de services relatives aux sites et sols pollués - Exigences générales ;
- À la norme NF X 31-620 partie 2 : Prestations de services relatives aux sites et sols pollués - Exigences dans le domaine des prestations d'étude, d'assistance et de contrôle.

Conformément à la méthodologie nationale, ce diagnostic s'appuie sur une étude documentaire historique et environnementale ainsi que sur des investigations qui visent à lever les incertitudes relatives aux éventuels impacts qu'auraient pu générer les activités exercées jusque là sur le site.

Les investigations de terrain ont porté sur les milieux sols et eaux souterraines saumâtres. Elles ont été réalisées en plusieurs étapes dans le but de déterminer les extensions des anomalies mises en évidence au cours des travaux et de confirmer la fiabilité des témoignages des anciens personnels de l'usine.

La première partie de ce rapport présente les résultats des investigations sur les sols et les eaux souterraines dans le périmètre de la future centrale C de Doniambo. Ces investigations indiquent que la qualité des sols présente localement des anomalies par rapport au référentiel retenu, en l'occurrence, la qualité des scories qui ont servi à la constitution de la plateforme industrielle.

Dans un tel cas, la méthodologie nationale définie par les circulaires du 8 février 2007 prévoit la réalisation d'un plan de gestion du site dont l'objectif est :

- de supprimer les pollutions concentrées,
- d'établir une démarche coûts-avantages pour les autres sources de pollution
- de garantir que les sources de pollution résiduelles seront maîtrisées, et que les impacts résiduels seront acceptables tant pour les populations que pour l'environnement.

Ce rapport présente l'étude documentaire, le résultat des investigations et le diagnostic de l'état des milieux, le plan de gestion défini pour le site de la future centrale C validé par une Analyse des Risques Résiduels (ARR) et propose un plan de surveillance des impacts résiduels sur la qualité des eaux souterraines.

2. - CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

2.1. - SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le secteur d'étude se situe en Nouvelle Calédonie, sur le site actuel de Doniambo localisé au nord-ouest de l'agglomération de Nouméa (voir figure hors texte n°1).

L'emplacement retenu pour accueillir le projet de construction de la centrale électrique de Doniambo Energie se situe en plein cœur du site pyrométallurgique SLN de Doniambo. Il est présenté en rouge sur la figure suivante.



Plateforme industrielle de Doniambo

La zone de projet, présentée par l'aire hachurée en rouge sur la figure ci-dessus, se situe sur une plateforme gagnée sur la mer, dans l'Anse Undu. Sa superficie est de 15 hectares, son altitude est de l'ordre de 3,5 à 4 m.

2.2. - CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le site est implanté sur une ancienne zone maritime comblée avec de la scorie provenant des usines de transformation du nickel, ainsi que de quelques matériaux industriels, de remblais divers. Au niveau du site de projet, les scories ont été déposées entre 1960 et 1975.

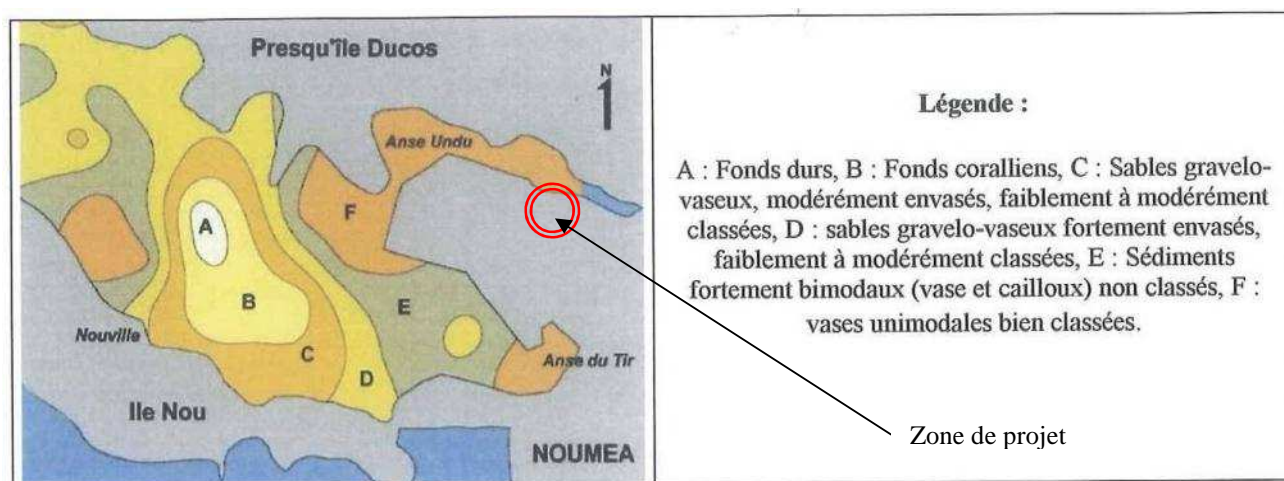
Les sondages profonds réalisés sur le site indiquent que l'assise du site comprend respectivement, du haut vers le bas :

- un horizon de remblai à dominante de scories,
- une vase argileuse en surface avec de petits éléments de coraux et de coquilles,
- de l'argile bariolée, légèrement graveleuse à la base,
- de la roche altérée puis le substratum composé de flyschs gréseux de l'Eocène.

L'extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Nouméa présenté en figure hors texte n°2 indique que le site de Doniambo se situe à proximité de formations de type flyschs gréseux volcano-clastiques de l'Eocène.

Il n'est pas fait état d'inclusions majeures de formations géologiques différentes ni de contacts anormaux dans cette zone. Des zones de fractures ou de failles peuvent exister suivant la direction générale de la presqu'île de Nouméa.

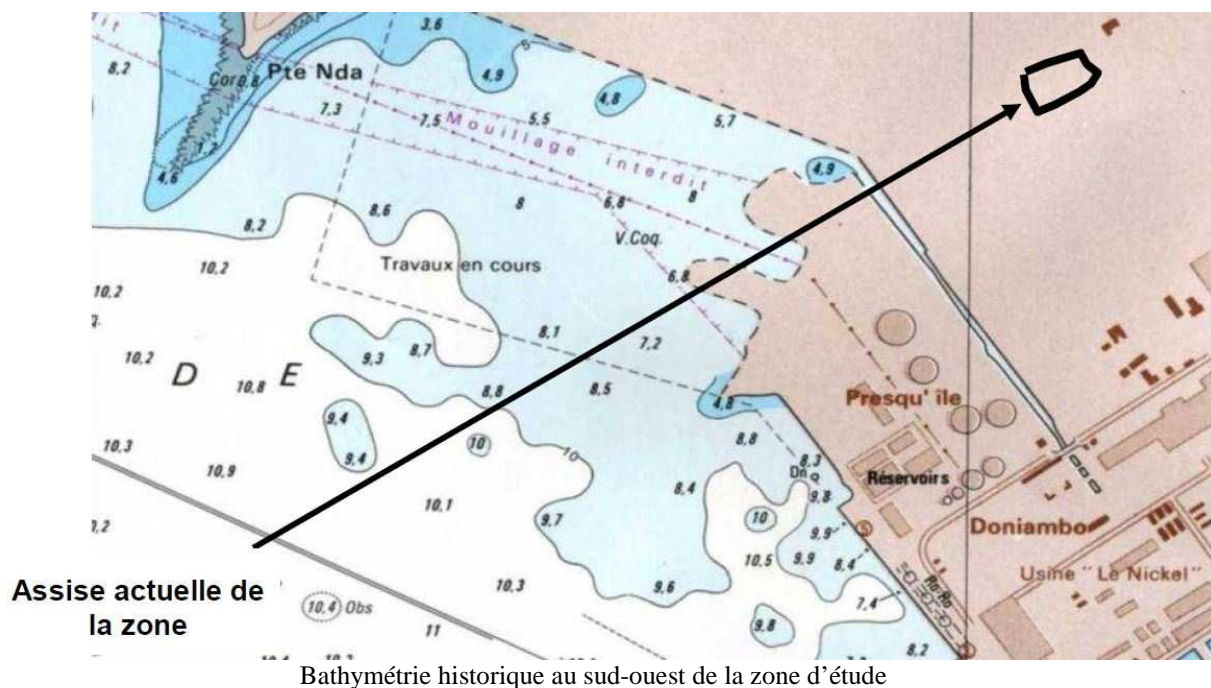
Les caractéristiques lithologiques des fonds autour de la zone de projet sont présentées en figure suivante.



Caractéristiques lithologiques des fonds

Nous constatons que les fonds marins rencontrés à proximité du site sont constitués de vases unimodales bien classées.

La bathymétrie historique relevée au sud de la plateforme industrielle indique des profondeurs modérées du fond, comprises entre 5 et 10 m. La profondeur du fond se réduit en se rapprochant de la pointe N'du. Le profil général se présente donc comme une rigole plongeant vers le sud-ouest.



Cette cartographie relevée hors du site industriel peut être complétée par les mesures effectuées sur des sondages géotechniques réalisés sur la plateforme, dans le périmètre du projet de centrale C, ainsi qu'en limite de plateforme.

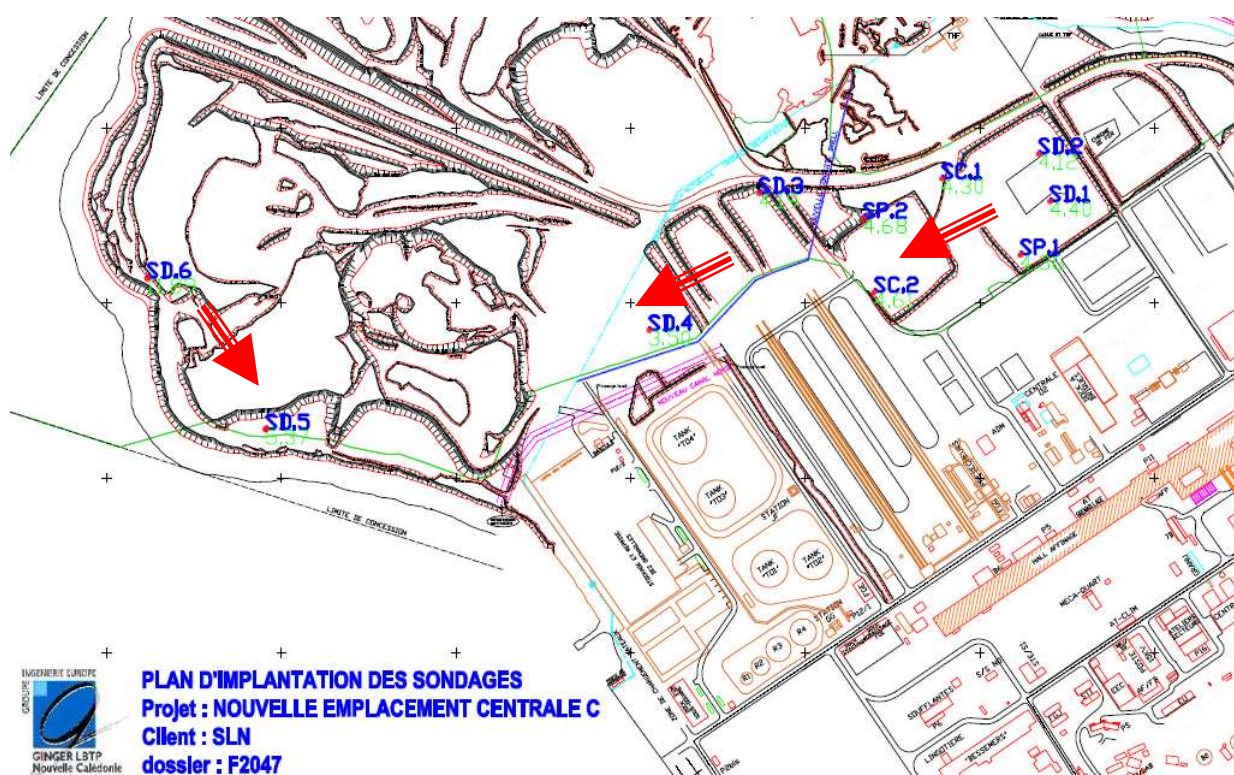


Localisation des sondages géotechniques profonds

Ces sondages ont rencontré, directement sous les remblais présents jusqu'à la cote de -11,2 m NGNC, des argiles vasardes gris-verdâtre avec débris de coraux et de coquilles sur une puissance de 5,9 à 11,3 m. Cet horizon est apparu relativement homogène, il repose sur une couche d'argile bariolée beige verdâtre puissante de 10 à 20 m. Le substratum rocheux qui correspond aux Flysch grauwaackeux de Montravel (Eocène III) n'est rencontré qu'à partir d'une cote de -25 m NGNC.

Les localisations des sondages pour lesquels nous disposons de coupes sont présentées en figure suivante. Les profondeurs de la base des remblais, des argiles vasardes et des argiles bariolées sont données dans le tableau suivant.

La flèche rouge indique le pendage du toit des argiles vasardes (base des remblais), ce qui est en accord avec la carte bathymétrique historique relevée au-delà de la plateforme industrielle.



Localisation des sondages géotechniques profonds réalisés autour de la zone de projet

Identifiant	Base des remblais (m NGNC)	Base des argiles vasardes (m NGNC)	Base des argiles bariolées (m NGNC)
SD1	-2.35	-4.85	-13.65
SD2	-2.33	-12.58	-15.13
SD3	-6.86	-14.61	-25.91
SD4	-9.6	-15.50	-21.15
SD5	-10.33	-	-29.33
SD6	-3.61	-15.11	-27.86
SP1	-6.84	-15.64	-16.84
SP2	-6.32	-13.82	-17.57
SC1	-6.70	-11.70	-28
SC2	-6.39	-13.39	-26.39

Tableau des profondeurs des bases des formations rencontrées dans la zone d'étude

Nous constatons que les remblais reposent sur plus de 10 m d'argiles imperméables qui les isolent de toute formation sous-jacente.

2.3. - CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

Le site de Doniambo est bordé par le port de commerce à l'ouest (Grande Rade) et par des baies sur une grande partie de sa périphérie (Anse Uaré et Anse Undu au nord ; Anse du Tir au sud).

Il n'est pas répertorié sur le site de Doniambo de cours d'eau, de lacs ou d'étangs. Le réseau hydrographique des alentours du site est constitué du milieu maritime et d'eaux saumâtres, avec :

- A l'est, le Canal de Rivière Salée qui draine les eaux du quartier de Rivière Salée ;
- Au nord, au-delà du seuil que constitue le pont sous la liaison Rivière Salée-Ducos, le Canal de Kowé Kara en relation avec la baie de Koutio-Koueta et le Canal de Ducos drainant un petit bassin versant ;
- Au sud-ouest, le Canal Ouest en liaison avec la partie ouest de l'Anse Uaré et un fossé canalisant les eaux pluviales. L'Anse Uaré est en communication avec le Port Autonome de Nouméa.

Il n'existe pas de captage d'eau de surface dans l'enceinte du complexe industriel. Le seul captage (eau de mer) est celui réalisé dans l'Anse du Tir pour le refroidissement des chaudières de la centrale électrique actuelle, ainsi que pour la granulation de la scorie effectuée lors des coulées des fours de fusion. L'eau de mer pompée à raison de 24 000 à 32 000 m³/h, est ensuite rejetée dans l'Anse Uaré, par l'intermédiaire du Canal Est du site.

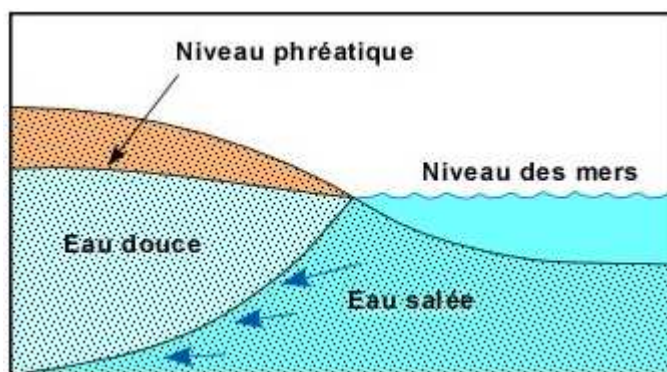
2.4. - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

De manière générale, il n'existe pas de captages d'eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable ou pour les activités d'élevage de poissons, de crustacés ou de culture de type cressonnière.

L'alimentation en eau de Doniambo et de Nouméa, en général, est réalisée à partir de captages d'eau de surface ou souterraine situés dans les plaines alluviales très éloignées de la Dumbéa et de la Tontouta, en dehors de la zone d'influence du site étudié.

Aucune nappe n'est répertoriée sur le site de Doniambo, il existe toutefois une masse d'eau qui se développe dans les remblais du site, à une profondeur de 3.5 à 4 m de la surface du sol, soit à une cote de l'ordre de +0,5 m NGNC. La qualité de cette masse d'eau sans usage est surveillée par plusieurs piézomètres exploités par le site SLN (voir figure 3).

Du fait de la proximité de la mer, les eaux souterraines contenues dans les remblais sont saumâtres, ce qui constitue une situation typique des régions côtières, particulièrement en présence de terrains gagnés sur la mer, comme l'indique le schéma suivant.



Mécanisme de la formation d'un biseau salé sous l'eau douce côtière

En effet, en bord de mer, les eaux salées, plus denses que les eaux douces, s'infiltrant sous ces dernières jusqu'à une certaine distance à l'intérieur du continent. L'eau douce "flotte" en quelque sorte sur l'eau salée. Il s'agit d'un phénomène fréquent de contamination de l'eau souterraine au droit des terres par l'eau salée.

Dans le cas de la plateforme de Doniambo entourée par la mer, ce phénomène est marqué. Les mesures de conductivité effectuées sur les piézomètres du site (jusqu'à 50 mS/cm) confirment ce phénomène. L'eau est bien saumâtre au droit de la plateforme industrielle, vraisemblablement sur l'ensemble de la plateforme remblayée. Le site de la zone de projet se situe donc en totalité sur une zone renfermant des eaux souterraines saumâtres. Il est ici inopportun d'identifier ces eaux souterraines à une nappe car il s'agit d'un milieu artificiel généré par la constitution de la plateforme dans la mer.

Dans le cadre de l'étude de diagnostic de la centrale C, l'ensemble des piézomètres de la plateforme industrielle (zone de projet ainsi que hors zone de projet) a été nivelé en Z, et une campagne de mesures synchrones a été menée sur les ouvrages, dans le but de déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines au droit du site.

Au niveau du site, le toit des eaux souterraines se situe à une cote comprise entre +0,31 et +0,79 m NGNC. Il apparaît que les cotes les plus basses sont mesurées en limite de la plateforme industrielle, ce qui indique que les écoulements se font vers la mer. Le gradient des eaux souterraines est faible, sauf en limite de la zone remblayée. Le marnage n'est que de l'ordre de quelques centimètres au droit du site.

Les directions de l'écoulement des eaux souterraines sont indiquées par les flèches bleues sur la figure suivante.



Direction des écoulements des eaux souterraines sur la plateforme industrielle

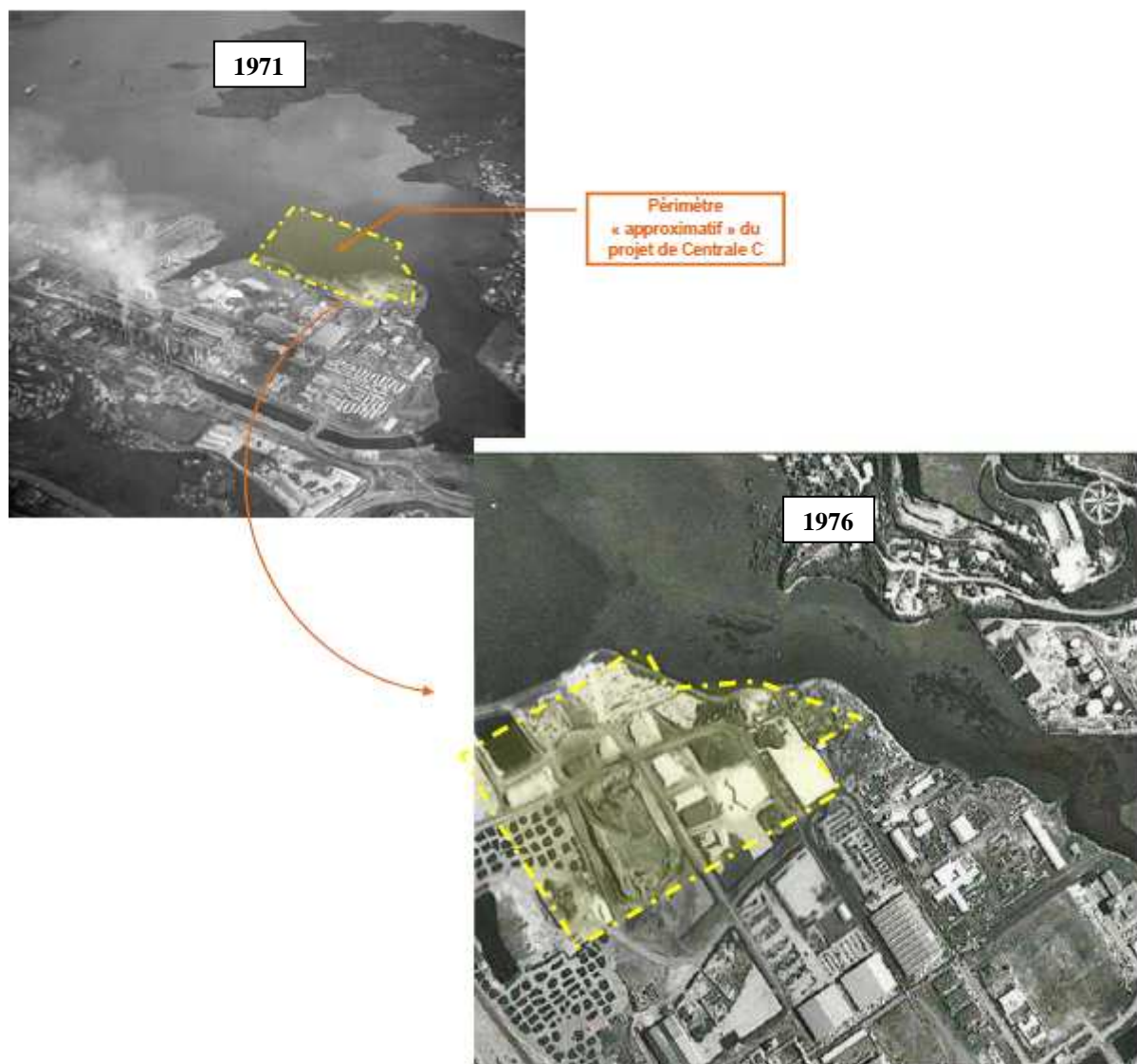
2.5. - CONTEXTE OCEANOGRAPHIQUE

La Grande Rade est une baie semi-ouverte, orientée est-ouest vers le lagon. Elle est délimitée au sud par la presqu'île de Nouville et au nord par la presqu'île de Ducos. L'entrée dans la rade est large de 180 m environ. La longueur de la baie est de 450 mètres pour une largeur comprise entre 180 et 240 mètres.

Les circulations d'eau du bassin de la Grande Rade sont essentiellement influencées par les marées. Les courants y sont faibles et dirigés vers l'ouest en conditions hydrodynamiques normales.

Lors d'évènements climatiques exceptionnels, on peut observer la levée d'un fort clapot (hauteur > 1 m) et une élévation pouvant dépasser 1 mètre du niveau de la mer sous l'effet de la marée barométrique.

L'avancement du remblaiement du site en 1971 et 1976 est présenté ci-dessous, sur fond de photographies aériennes.



Etat d'avancement du remblaiement de la plateforme au droit de la zone de projet de la centrale C
Source : A2EP

On constate que les opérations de remblaiement de la zone étaient achevées en 1976.

La SLN a toujours été l'unique propriétaire de la plateforme industrielle.

3.2. - ACTIVITES EXERCEES SUR LA ZONE DE PROJET

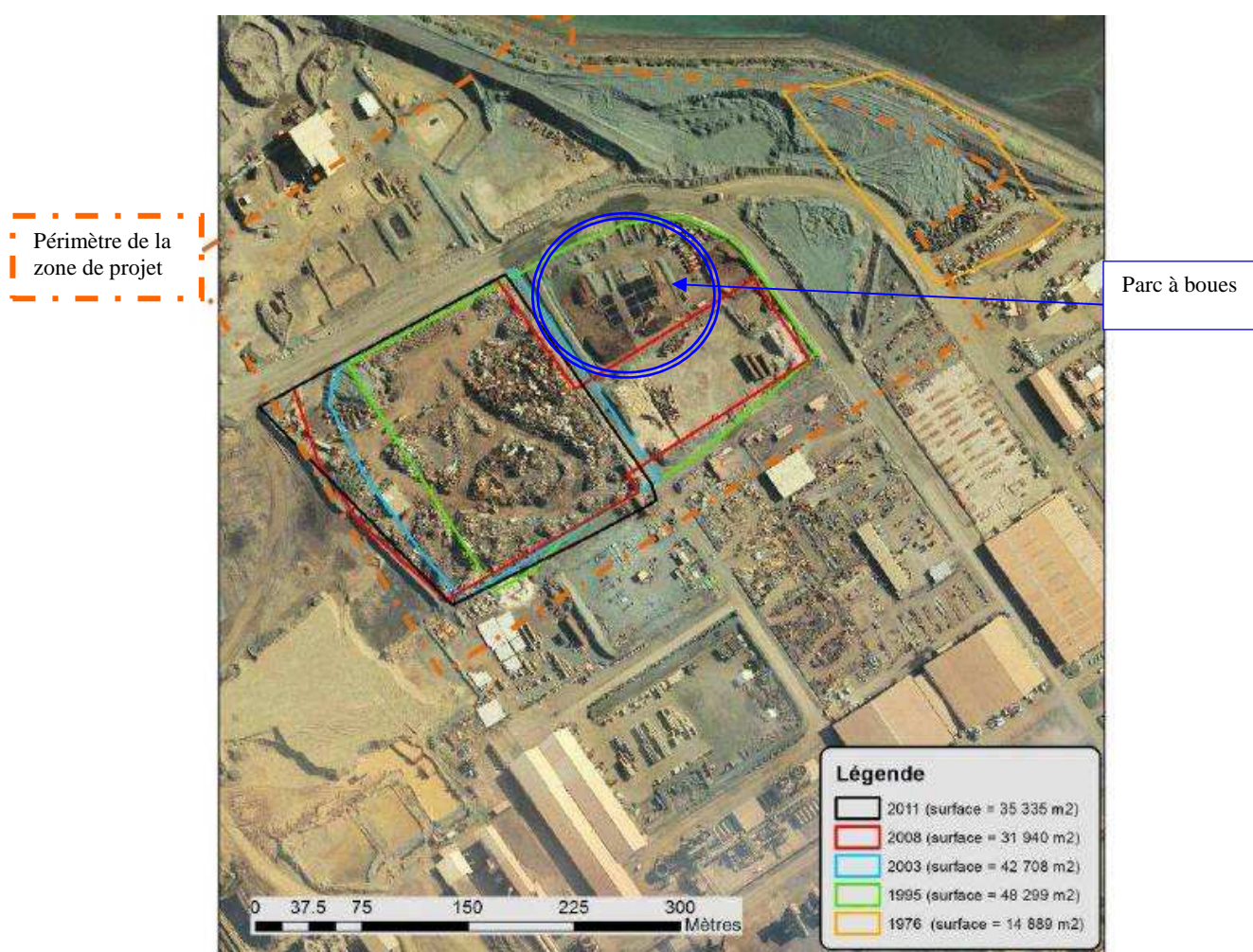
3.2.1. - Contexte général

L'étude historique a été réalisée avec la société A2EP. Elle s'appuie sur des photographies aériennes, d'anciens documents relatifs à la zone, ainsi que sur une enquête auprès des anciens et des actuels employés de la société SLN.

Deux activités principales ont été identifiées sur la zone de projet, il s'agit de l'exploitation de parcs à ferrailles et de celle de valorisation de boues d'hydrocarbures. A signaler également, l'ancienne exploitation d'un casse fonte, des bassins de décantation qui étaient situés au nord de la zone, le parc d'homogénéisation des minerais situé à l'ouest de la zone d'étude, ainsi que quelques stockages de matières premières (charbon, gypse, corail, giobertite, silice) pour l'exploitation des fours Elkem et convertisseurs Bessemer et de matériel en fin de vie.

3.2.2. - Le parc à ferrailles

Depuis son implantation initiale en 1976 en limite est de la plateforme (voir figure suivante), le parc à ferrailles a été déplacé, et son périmètre a été modifié plusieurs fois de façon assez sensible.



Périmètres successifs du parc à ferrailles (source A2EP) et parc à boues en bleu

L'activité du parc à ferrailles a débuté après la constitution de la plateforme de scories. La SLN, propriétaire du terrain a concédé à la société EMC l'exploitation sur cette parcelle depuis la fin des années 1990.

La date de début d'activité n'est pas connue, mais il est très vraisemblable que l'activité a commencé immédiatement après la constitution de la plateforme. A l'époque, EMC exploitait conjointement le parc à ferrailles avec la SLN qui ramenait ses engins miniers et s'occupait de leur mise hors service.

En juin 2013, le parc à ferrailles occupait une superficie de l'ordre de 38 000 m². La zone d'exploitation n'est pas cadastrée, elle forme un polygone dont les coordonnées des nœuds sont reprises ci-dessous.

- 648093.585 ; 7538535.498 Nord
- 648206.498 ; 7538366.027 Sud/Sud-Est
- 648136.198 ; 7538316.024 Sud
- 648007.673 ; 7538350.242 Ouest/Sud-Ouest
- 647948.972 ; 7538453.731 Nord/Nord-Ouest

La nature de l'exploitation se rapporte à la valorisation des métaux. Elle consiste à accepter des déchets métalliques et à effectuer des opérations de tri et découpe en vue de leur revente. Les métaux provenaient initialement de l'exploitation de l'usine (structures métalliques lous de poches, résidus de production, débris métalliques, moteurs, carcasses diverses, etc.), mais pas exclusivement, à compter de 1990.

Il n'y avait pas de gestion environnementale spécifique à ce type d'activité au début de la mise en exploitation du parc à ferrailles, c'est-à-dire qu'aucune précaution particulière n'était prise lors des opérations de démontage ou de chalumage.

Les pièces étaient déposées à même le sol qui n'était pas imperméabilisé. Ce type de gestion est de nature à impacter le sol :

- sur les premiers décimètres en ce qui concerne les débris métalliques et les poussières, avec formation d'une couche de mélange sol – poussières/débris
- sur une profondeur plus importante, jusqu'aux eaux souterraines en ce qui concerne les hydrocarbures moins denses que l'eau (huiles, fuel et carburants de façon générale)
- jusqu'au substratum d'argiles vasardes en ce qui concerne les éventuelles substances plongeantes (hydrocarbures chlorés et aromatiques).

L'activité EMC de Doniambo a été réglementée en tant qu'installation de transit de déchets industriels pour l'activité relevant de la rubrique 2722 de la nomenclature ICPE (stockage et récupération de déchets métalliques). Les déchets métalliques acceptés étaient alors :

- des bennes de déchets métalliques de la SLN,
- des paquets noirs, paquets de carcasses de voiture et des produits galvanisés provenant du site EMC de Ducos.

Les produits provenant du site EMC de Ducos sont des produits prêts à être exportés pour valorisation. Les opérations de dépollution des carcasses de voiture etc., étaient préalablement effectuées sur le site de Ducos, c'est-à-dire hors du site du projet, objet de la présente étude.

3.2.3. - Le parc à boues

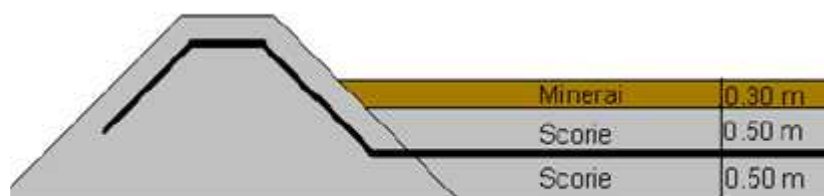
Le parc à boues a été implanté en 2003 sur une zone de 8600 m² précédemment occupée par le parc à ferrailles. Jusqu'en 2008, la zone ne disposait que d'un seul bassin avec géomembrane et aire d'homogénéisation et de séchage des « minerais + boues » à même le sol.

En 2010, ce parc a été agrandi par extension de la géomembrane. D'importants travaux ont été entrepris et la totalité du site (bassins + zone de mélange + zone de stockage) a été disposée sur des liners. Un séparateur à hydrocarbures a été installé pour traiter les eaux de rejet.

Le principe de construction de chacun des bassins était le suivant (voir coupe schématique en figure suivante) :

- en sous-couche : une couche de forme de 50 cm de scories
- une géomembrane étanche
- une couche de 50 cm pour assurer la protection de la géomembrane lors des opérations de reprise,
- une couche de protection additionnelle de 30 cm de minerai

Chaque bassin disposait d'un merlon périphérique en scories.



Coupe schématique des bassins du parc à boues

La profondeur utile des bassins étaient d'un mètre. Ceux-ci étaient disposés en deux bassins de réception et mélange de 1130 m³ chacun (bassins A et B) et un bassin de stockage de 2400 m³ (bassin C).

Les bassins A et B disposaient de deux compartiments :

- l'un pour le stockage du minerai et les opérations de triage et mélange,
- l'autre pour la décantation des déchets hydrocarbonés.

Les photographies suivantes présentent les vues du bassin B en fonctionnement et du bassin C en cours de déconstruction.



Bassin B en fonctionnement



Bassin C en cours de déconstruction

Le principe de la valorisation était de préparer un mélange homogène des boues hydrocarbonées obtenues après homogénéisation dans les bassins avec du minéral. Le mélange ainsi obtenu permet de récupérer le pouvoir calorifique des hydrocarbures qui étaient alors valorisés dans les fours de l'usine.

Initialement, le parc pouvait recevoir toutes les boues du Territoire. Mais à partir de 2011, seules les boues de la SLN et d'ENERCAL étaient encore acceptées. Les boues reçues par ce parc étaient tous les déchets hydrocarbonés liquides de l'usine ne contenant pas de PCB (< 50 mg/kg). Ces boues contenaient de 60 à 80% d'eau qu'il convenait de séparer, et des hydrocarbures (huiles, fuel, gasoil) provenant des pompes périodiques réalisés dans les séparateurs de l'usine, les éventuels déchets de pollution des eaux, ainsi que des huiles usagées trop visqueuses pour être traitées à la station de traitement des huiles usagées. Le tonnage annuel reçu était de l'ordre de 2500 tonnes par an.

La zone du parc à boues était également une zone de transit pour d'autres déchets hydrocarbonés, tels des fûts et bidons.



Vues aériennes du parc à boues en 2008 (à gauche) et 2014 (à droite)

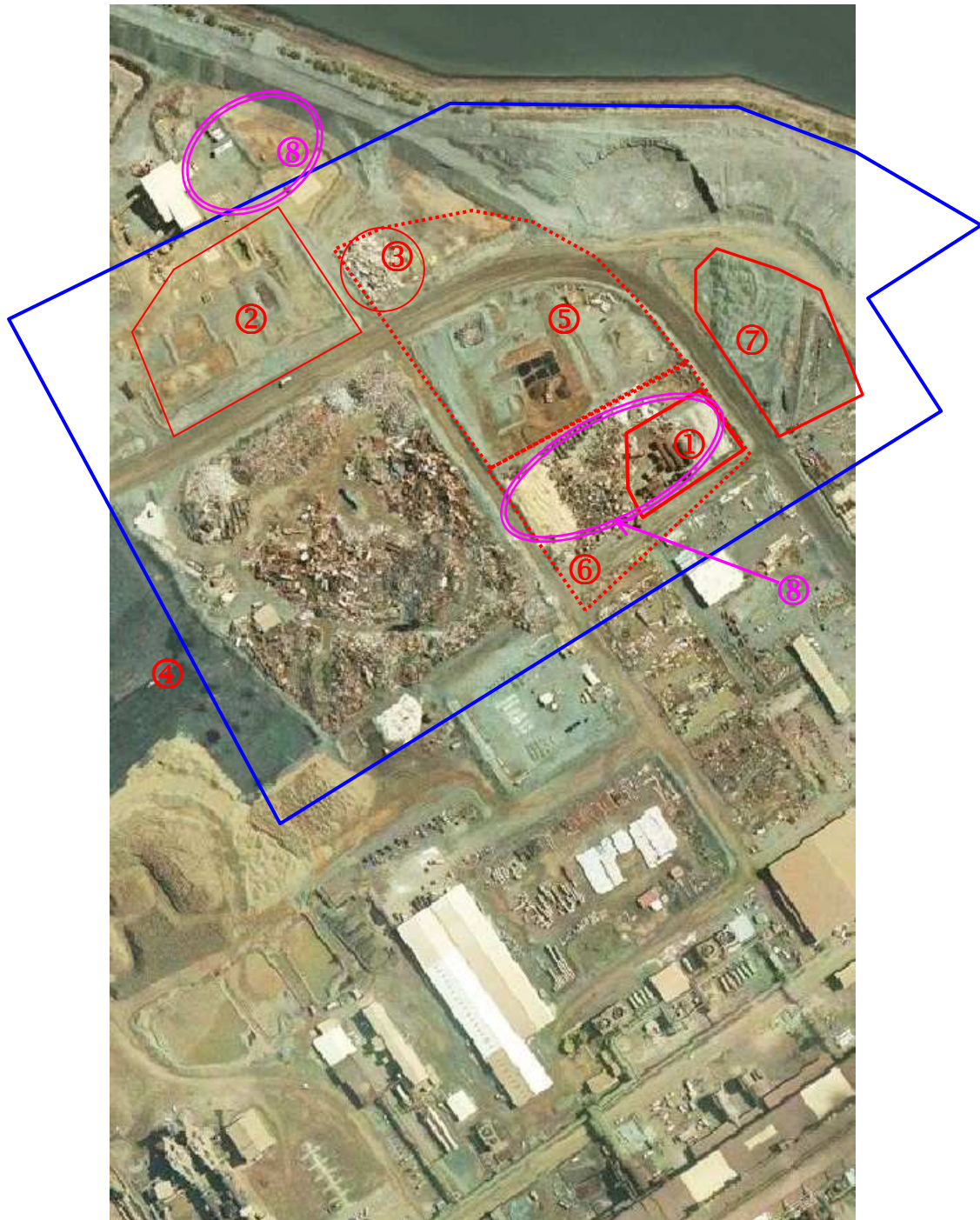
Le parc à boues a été déménagé en mars 2014. Aucun incident n'a été signalé dans cette zone durant son exploitation. L'ensemble des installations, y compris les géomembranes, a été démonté et évacué. Les géomembranes souillées aux hydrocarbures ont été éliminées à l'exportation.

Les risques liés à cette activité sont ceux de l'infiltration d'hydrocarbures dans les sols, que ce soit au droit des bassins avant qu'ils n'aient été étanchéifiés, ou au droit des zones de manipulation et de préparation des boues ou déchets hydrocarbonés de façon générale. Ce risque concerne donc l'ensemble de la zone du parc à boues.

3.2.4. - Autres activités historiques de la zone de projet

Les autres activités historiques de la zone de projet sont l'exploitation de bassins de séchage de minerais, d'un parc d'homogénéisation de minerais, de stockages de matières premières ou de matériel. Un casse-fonte était situé au nord-ouest de la zone, hors périmètre de la photographie suivante.

La localisation de ces activités (autres que parc à ferrailles et parc à boues) est reportée ci-dessous, sur une vue aérienne de la zone de projet.



Localisation des activités historiques de la zone Centrale C
Voir tableau de correspondance des activités en page suivante

Identifiant	Période d'exploitation	Activité
①	2007-2014	Stockage de matériel (viroles de four, bandes transporteuses)
②	2000 - 2014	Bassins de pulpe de minerai et dalle d'échantillonnage
③	2008	Stockages en vrac (ferrailles ?)
④	2000 - 2010	Stockage de charbon – Homogénéisation de minerais
⑤	1970 - 1985	Stockage de matières premières (corail, gypse, silice, giobertite)
⑥	1970 – 1990	Stockage de matières premières (corail, gypse, silice, giobertite)
⑦	1970 - 1980	Stockage de matériels et de pièces
⑧	1975-1980	Stockages de transformateurs PCB

Tableau de correspondance des activités historiques identifiées sur la photographie aérienne

La zone ① correspond à une zone de stockage de matériels. Cette activité ne constitue pas un risque pour la qualité des sols.

La zone ② accueillait les bassins des minerais et pulpes de minerai de la mine de Tiebaghi. Ces bassins servaient au séchage de ces produits. La zone accueillait également la dalle d'échantillonnage gérée par le service étude de l'usine. Les produits qui transitaient sur cette dalle étaient des scories, des minerais et du charbon. Les stockages de pondéreux sur dalle ne sont pas à considérer comme des sources potentielles de pollution.

Une zone temporaire de stockage de matériaux en vrac (③) a été constatée sur les photographies aériennes. Ce stockage a été de courte durée. Il pourrait s'agir d'un stockage tampon de ferrailles. Ce stockage pourrait avoir eu un impact sur la qualité des sols superficiels.

Des stockages de charbon (④) ont eu lieu au sud-ouest du parc à ferrailles. L'homogénéisation de minerais se faisait également dans cette zone. Des matières premières étaient stockées au nord-est. Les stockages de pondéreux sont susceptibles d'avoir un impact sur les premiers décimètres du sol.

Les zones ⑤ et ⑥ ont accueilli des stockages en vrac de matières premières, ce qui ne constitue pas une activité à risque du fait de la nature des produits stockés.

Un stockage de pièces et de matériel a été constitué immédiatement après la réalisation de la plateforme, dans la partie identifiée par le symbole ⑦. Aucun impact spécifique n'est attendu de ce stockage.

Un agent de maîtrise SLN a indiqué qu'une partie de la zone ⑥ a accueilli des transformateurs au PCB. Ces transformateurs « pleins » étaient destinés à être vidangés dans la zone et les fluides étaient transvasés en fûts, ces derniers devant être stockés ensuite à l'abri avec les transformateurs en attente de regroupement en vue de leur évacuation. Il a également signalé une autre zone de stockage de transformateurs, sans opérations sur les fluides, en limite extérieure nord du périmètre du projet de la centrale C. Ces deux zones sont identifiées par le symbole ⑧. Les zones ⑧ sont donc susceptibles d'avoir été impactées par cette activité.

3.2.5. - Activités historiques potentiellement polluantes à proximité de la zone de projet

Quelques activités susceptibles d'avoir un impact sur les eaux souterraines s'écoulant au droit de la zone de projet ont été identifiées à proximité du site.

Il s'agit d'un poste de distribution de gasoil situé au sud-est (en amont hydraulique) de la zone de projet et identifié par le symbole ① sur la figure suivante, ainsi qu'une zone d'activité de peinture identifiée par le symbole ②.



Localisation des activités extérieures à la zone de projet
et pouvant potentiellement impacter la qualité des eaux souterraines au droit du site

3.3. - SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION

3.3.1. - Identification des sources potentielles de pollution

L'étude documentaire historique a conduit à l'identification de plusieurs sources potentielles de pollution.

Les principales sources potentielles de pollution identifiées en termes de superficie et de risques sont les suivantes :

- parc à ferrailles, dont le périmètre était évolutif au cours de l'histoire du site,
- parc à boues,
- la zone de stockage et de vidange des transformateurs au PCB.

Des sources d'importance moindre ont été identifiées. Il s'agit :

- des zones de stockages de matières premières, charbon, silice, etc.,
- des zones de stockage de matériel.

Enfin, des sources potentielles ont été identifiées hors site. Elles sont citées dans la mesure où elles sont susceptibles d'avoir un impact sur la qualité des eaux souterraines au droit du site. Il s'agit de la zone de peinture et du poste de distribution de gasoil situés en amont hydraulique de la zone.

L'emprise globale de l'ensemble des zones abritant les sources potentielles de pollution identifiées est présentée en figure suivante, sur fond du périmètre du site.



En bleu : emprise du site, en rouge, emprise géographique des sources potentielles de pollution

L'ensemble des zones concernées recouvre quasiment la totalité de la surface de la zone de projet. Ces sources potentielles de pollutions sont liées à des stockages ou activité de traitement de ferrailles, boues ou transformateurs, l'emprise de chaque source individuelle est importante, de l'ordre de plusieurs milliers de mètres carrés.

3.3.2. - Substances associées aux sources potentielles de pollution

Les activités potentiellement polluantes qui ont été exercées dans la zone d'étude et les substances associées à ces activités sont présentées dans le tableau suivant.

Activités exercées	Substances associées
Parcs à ferrailles	Métaux, hydrocarbures
Parc à boues et transit de déchets d'hydrocarbures	Hydrocarbures, HAP
Stockage et vidange de transformateurs	Hydrocarbures, PCB
Stockages de matières premières	Métaux
Stockages de matériels	Hydrocarbures

Tableau d'association des substances aux activités

L'ensemble des métaux peut être associé à l'activité des parcs à ferrailles, mais certains d'entre eux peuvent être retenus comme indicateurs de pollution ; il s'agit des métaux (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb). De façon secondaire, les HAP, les COHV (solvants halogénés) et les PCB peuvent également être associés à l'activité des parcs à ferrailles.

3.3.3. - Propriétés physico-chimiques des substances associées

Les substances associées aux sources de pollution sont les métaux, les hydrocarbures, les HAP et les PCB, ainsi que dans une moindre mesure, les COHV. Les comportements de ces substances dans les sols et les eaux souterraines sont décrits ci-dessous.

3.3.3.1. - Les métaux

Les métaux sont présents de façon naturelle dans les sols. Ils proviennent en grande partie de l'altération de la roche mère du sous-sol. Dans le cas particulier du site de Doniambo, la plateforme est essentiellement constituée par des remblais de scories, riche en métaux (chrome et nickel).

Du point de vue des propriétés physico-chimiques, la solubilité des métaux dépend de l'élément concerné, du chimisme de la phase aqueuse (pH, potentiel rédox, concentrations en ligands) et des phases solides environnantes qui interagissent avec la composition de cette phase.

Les métaux dans leur état élémentaire sont indéfiniment stables en tant que tels. Les métaux ne sont pas volatils à température ambiante.

Sous leur forme élémentaire, les métaux ne sont pas solubles dans l'eau, ils sont peu mobiles dans les sols.

3.3.3.2. - Les hydrocarbures

Les hydrocarbures ou huiles minérales regroupent différents produits pétroliers (pétrole brut ou raffiné, kérosène, essences, fuel, lubrifiants, huiles à moteurs). Cette famille comprend principalement des alcanes (hydrocarbures aliphatiques) en chaînes linéaires ou ramifiées et comprend également, parfois en proportion significative, des hydrocarbures aliphatiques cycliques (cyclanes) ou aromatiques (monocycliques ou polycycliques).

Les hydrocarbures peuvent être désignés selon leur utilisation, ou selon par leur coupe de raffinage. Les noms et usages des principales coupes sont présentés dans le tableau suivant.

Nombre de Carbones	Volatil	Nom	Utilisation actuelle
C1	Gaz	Méthane	Gazier : distribué (chauffage, énergie, chimie)
C2	Gaz	Ethane	Gazier : distribué (chauffage, énergie, chimie)
C3	Gaz	Propane	GPL
C4	Gaz	Butane	GPL
C5-C7	Oui	Naphtas	Pétrochimie
C5-C10 (1)	Li- quide	Essence	Carburants, solvants
C9-C20 (1)	Li- quide	Kérosène Gas-oil	Carburant, chauffage
C12-C20 (1)	Li- quide	Huiles	Lubrifiants
C14-C26 (1)	non	Gas-oil lourd	Chauffage, production électrique, moteurs industriels
C20-C40 (2)	non	Goudron	Revêtements routiers et couverture, étanchéité, protection

La solubilité des hydrocarbures aliphatiques dans l'eau est variable, mais jamais élevée. On note des valeurs de 3 à 30 mg/l pour les C5-C7, qui chutent (0,07 mg/l sur C9, 0,007 pour C12). La plupart des hydrocarbures sont peu miscibles à l'eau, ils tendent à former des couches distinctes quand ils atteignent les eaux souterraines.

La densité des hydrocarbures varie avec la longueur de la chaîne carbonée. La plupart des hydrocarbures (C5 à C26) s'accumulent sélectivement en surface des eaux souterraines du fait de leur densité inférieure à 1. Les plus lourds comme le fuel lourd plongeront dans les eaux souterraines (densité supérieure à 1).

La stabilité des hydrocarbures aliphatiques est assez élevée, leur dégradation est lente.

Les hydrocarbures légers (C5 à C12) sont volatils, au-delà de C12 ils sont semi-volatils jusqu'à C26. Les travaux du TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) Working Group indiquent que les coupes lourdes d'hydrocarbures (supérieures à C16) ne sont pas volatiles et donc ne sont pas à retenir pour cette voie d'exposition.

La viscosité des hydrocarbures légers est inférieure à 1, elle est importante pour les hydrocarbures lourds.

3.3.3.3. - Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) regroupent des substances chimiques constituées de deux à six cycles aromatiques juxtaposés. Le nombre théorique d'HAP est supérieur à 1000. Selon le nombre de cycles, ils sont classés en HAP légers (jusqu'à 3 cycles) ou lourds (4 cycles ou plus) qui ont des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques différentes.

Les HAP sont présents dans l'environnement sous forme de mélange. Ils proviennent principalement des processus de pyrolyse et en particulier de la combustion incomplète de matières organiques. Les principales sources d'émission dans l'air sont le chauffage (charbon, bois, fuel), les véhicules automobiles et la production de coke, le raffinage de pétrole brut, ...

La solubilité des HAP est faible pour les plus légers (1 à 30 mg/l) à très faible pour les plus lourds (1 µg/l à 1 mg/l). Leur densité est supérieure à 1 et ils sont immiscibles à l'eau. Les HAP sont souvent biodégradables en condition aérobie dans les sols, les molécules les plus légères sont dégradées le plus rapidement. Ils sont souvent fixés par la matière organique du sol. Les HAP sont semi-volatils, ils sont solides à la température de 20°C.

3.3.3.4. - Les polychlorobiphényles (PCB)

Les polychlorobiphényles (PCB) sont des composés aromatiques organochlorés dérivés du biphényle, synthétisés sous forme de mélanges, de formule chimique $C_{12}H_{(10-n)}Cl_n$ (avec $1 \leq n \leq 10$). Ils forment une famille de composés ayant la même structure chimique (chaque noyau phényle pouvant comporter jusqu'à 5 atomes de chlore en substitution des atomes d'hydrogène). Il existe donc, 10 degrés de chloration allant du monochloro-biphényle au décachloro-biphényle (Dargnat et Fisson, 2010 ; PIREN Seine, 2009). Selon le nombre et la position des atomes de chlore, il existe en théorie 209 congénères.

Les « PCB indicateurs » représentent près de 80 % des PCB totaux : le plus souvent les 118, 138, 153 et 180 mais aussi les 28, 52 et 101 (tous sauf le PCB 118 sont des PCB-NDL) (INRS, 2007).

Les PCB sont des composés persistants dont les propriétés physico-chimiques varient avec le nombre et la position des atomes de chlore. Les molécules les plus chlorées sont les plus stables physico-chimiquement et ne sont pas biodégradables.

Les PCB sont faiblement mobiles dans les sols du fait de leur faible solubilité et d'un coefficient de partage K_{ow} élevé. En conséquence, ils sont donc persistants dans les sols. Leur lixiviation est faible, en particulier pour les composés les plus chlorés. Leur coefficient de distribution K_d augmente également avec le nombre d'atomes de chlore. Plus le PCB est chloré, moins il est volatil.

Les PCB sont plus denses que l'eau, leur densité est comprise entre 1,18 et 1,62. Leur viscosité est moyenne à élevée.

3.3.3.5. - Les composés organiques halogénés volatils (COHV)

On trouve ces familles dans différents produits industriels : carburants, peintures, vernis, diluants, solvants.

Les COHV peuvent se présenter sous différentes phases dans les sols :

- phase gazeuse, sous forme de vapeur dans la zone non saturée
- phase solide, adsorbés sur les particules du sol en zone saturée ou non saturée
- phase aqueuse, dissous dans l'eau intersticielle en zone saturée ou non saturée
- phase immiscible, sous forme d'une phase liquide individualisée, en zone non saturée.

La solubilité des COHV est importante, de 100 à 10 000 mg/l, et leur densité est généralement supérieure à 1. Ils ont donc tendance à plonger dans les eaux souterraines. Ces composés sont stables. Ils sont volatils et très peu visqueux, donc fortement mobiles.

Leur comportement dans les eaux souterraines se fait selon plusieurs mécanismes distincts. Ils peuvent migrer sous forme immiscible ou sous forme dissoute, leur direction d'écoulement ne sont alors pas les mêmes quand il s'agit de produits présentant une densité supérieure à 1.

3.3.4. - Evaluation de la mobilité des substances dans les sols et les eaux souterraines

Dans les sols

Les métaux ne sont pas mobiles dans les sols. Ils resteront donc en surface du site pour ceux qui proviennent de l'activité de surface ou dans une couche de mélange en surface du site pour ceux qui proviennent de la manipulation de ferrailles en vrac.

Les hydrocarbures s'infiltreront en profondeur dans les sols, tant qu'ils se présentent sous une phase liquide. Si la phase liquide est suffisamment importante, ils peuvent atteindre les eaux souterraines. Suivant leur composition, ils peuvent également être remobilisés par les eaux météoriques, et rejoindre les eaux souterraines de façon différée. Les hydrocarbures volatils peuvent dégazer dans les pores du sol.

Les HAP s'infiltreront en profondeur s'ils sont entraînés par une phase liquide. Ils sont peu mobiles et se déplaceront lentement. Ils sont facilement adsorbés sur la matière organique. Ils sont peu lixiviables et peu volatils. Ils peuvent être mobilisés par certains hydrocarbures.

Les PCB sont très peu mobiles dans les sols.

Les COHV sont mobiles à très mobiles dans les sols et peuvent s'infiltrer en profondeur. Ils peuvent se disperser sous forme gazeuse ou liquide, et/ou rester adsorbés en phase solide.

Dans les eaux souterraines

Sous leur forme élémentaire ou sous forme d'oxydes qui sont les deux principales formes attendues pour ce site, les métaux ne sont pas solubles dans l'eau.

Les fractions <20 des hydrocarbures peuvent se mettre en solution et migrer avec les eaux souterraines. La plupart des hydrocarbures étant moins dense que l'eau, ils vont former une couche (phase) qui s'étalera en surface des eaux souterraines. Les hydrocarbures lourds (fuel lourd ou goudrons) plongeront dans les eaux souterraines jusqu'au substratum formé par les argiles vasardes où ils seront peu mobiles.

Les HAP sont plus denses que l'eau et peu solubles. Une partie sera solubilisée, en particulier pour les plus légers (naphtalène, acénaphène et acénaphthylène), et migrera avec l'écoulement souterrain, en plongeant vers la profondeur. Une partie s'adsorbera sur les sols. Les HAP sont visqueux, ils sont solides à 20°C, leur mobilité dans la zone non saturée est faible.

Les PCB sont très peu solubles. S'ils atteignent les eaux souterraines, ils auront tendance à plonger vers le fond. Ils sont visqueux, leur mobilité est très faible dans les eaux souterraines, et ils devraient s'accumuler sur le substratum.

Les COHV sont solubles. Ils peuvent être mis en solution et suivre le mouvement des eaux souterraines en plongeant vers le fond de l'aquifère, mais ils peuvent aussi plonger directement en phase immiscible et suivre la pente du substratum constitué par les argiles vasardes.

3.4. - CIBLES POTENTIELLES

L'accès à la plateforme industrielle est soumis à autorisation. La cible par contact direct aux sols superficiels est donc limitée au personnel intervenant sur site (adulte averti).

Il n'y a pas de véritable nappe au droit du site, des eaux souterraines sont présentes dans les remblais, elles n'ont pas d'usage et s'écoulent vers la mer. Elles ne s'infiltrant pas vers des nappes profondes du fait de la présence d'un substratum imperméable à faible profondeur. Il n'y a donc pas de risque de contamination d'un captage d'alimentation en eau potable ou d'irrigation.

Concernant le milieu marin, sa richesse spécifique globale est faible en raison des contraintes environnementales dues à l'anthropisation historique de la zone du port de commerce. Toutefois, une à deux fois par an, cette dernière est fréquentée par de nombreux poissons pélagiques qui attirent des prédateurs. La pêche est interdite dans l'Anse Uaré.

4. - INVESTIGATIONS REALISEES

4.1. - STRATEGIE DES INVESTIGATIONS

4.1.1. - Stratégie initiale

Du fait de l'occupation du site par des activités occupant des surfaces importantes et ne présentant pas de particularités ponctuelles en ce qui concerne le risque de pollution, il a été retenu une stratégie d'investigations systématiques sur la base d'une discrétisation du secteur d'étude par un maillage carré de 40 m sur la partie centrale du site, avec des mailles plus étendues en limites du périmètre. La longueur de la zone d'étude est de 520 m pour une largeur de 320 m. Le site a ainsi été découpé en 75 mailles devant chacune faire l'objet d'un sondage à la pelle.

Une cartographie magnétique de la zone d'étude a également été prévue dans le but de reconnaître les éventuelles masses métalliques d'importance, et ainsi, le cas échéant, orienter les investigations à la pelle.

L'étude documentaire historique n'était pas encore totalement finalisée, au moment de la définition de la stratégie initiale. D'autre part, le parc à boues était encore en activité à ce moment. Il a donc été décidé de compléter cette première phase de reconnaissance par des travaux complémentaires à réaliser ultérieurement.

La profondeur d'investigation a été limitée à 4 m car les premiers sondages ont indiqué que les eaux souterraines étaient rencontrées à cette profondeur. Les hydrocarbures étant moins denses que l'eau, leur migration verticale est arrêtée par l'eau. Les métaux, quand ils sont présents sous leurs formes métalliques, ne sont pas de nature à migrer dans les sols. Ils ne sont donc attendus que dans l'horizon superficiel (sauf en ce qui concerne d'éventuels mouvements de terre pour lesquels nous ne disposons pas d'informations spécifiques). Les PCB sont des substances plus denses que l'eau, mais ils sont très peu mobiles dans les sols, ils ne sont pas de nature à migrer de façon significative sur la verticale. Enfin, les solvants chlorés qui peuvent être potentiellement associés à l'activité du parc à ferrailles sont généralement très volatils. Leur solubilité permet de rechercher les éventuelles infiltrations par diagnostic de la qualité des eaux souterraines au droit des piézomètres à implanter sur le site au cours de l'étude.

Il a été prévu de prélever deux échantillons par sondage, dans les horizons suivants :

- 0 à 1 m pour l'échantillon dit de surface,
- 1 à 4 m pour l'échantillon dit de fond.

Les analyses prévues portent systématiquement sur les métaux (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) et les hydrocarbures à raison d'une analyse par sondage. L'échantillon à analyser est alternativement l'échantillon de surface et de fond, suivant la localisation du sondage. Il a également été prévu de réaliser, en tant que de besoin, suivant les éventuels indices organoleptiques de pollution qui seraient constatés au cours des investigations de terrain, des screenings (HAP-COHV-PCB).

Il a été prévu, dans la stratégie initiale, d'investiguer le milieu eaux souterraine en encadrant le site avec six piézomètres d'une profondeur de 10 mètres pour la reconnaissance de sa qualité, avec recherche des mêmes paramètres dans l'eau que dans les sols.

4.1.2. - Investigations complémentaires

La deuxième série d'investigations avait pour objectif de caractériser les sols au droit du parc à boues qui était en activité au moment de la réalisation des investigations initiales, et les zones potentiellement préoccupantes en PCB, dans la zone de dépotage des transformateurs. Pour cela, 10 sondages ont été programmés. La présence de PCB dans les sols de la zone de dépotage ayant été avérée, 42 sondages complémentaires ont immédiatement été réalisés dans cette zone. L'échantillonnage de cette série a également porté sur les horizons 0 – 1 m et 1 – 4 m. Cinq piézomètres complémentaires (PZ7 à PZ11) ont été réalisés.

L'identification de zones localisées avec présence de PCB en concentrations préoccupantes a conduit à programmer une troisième série d'investigations dans la perspective de la dépollution de la zone. L'objectif de ces sondages était de délimiter aussi précisément que possible les extensions horizontales et verticales des pollutions aux PCB. Pour cela, 41 sondages à la tarière ont été programmés avec la stratégie suivante :

- encadrer systématiquement les sondages qui ont présenté des anomalies en PCB avec 4 sondages à réaliser dans un rayon de quelques mètres
- élargir le secteur préoccupant par des sondages de confirmation, plus espacés que les précédents.

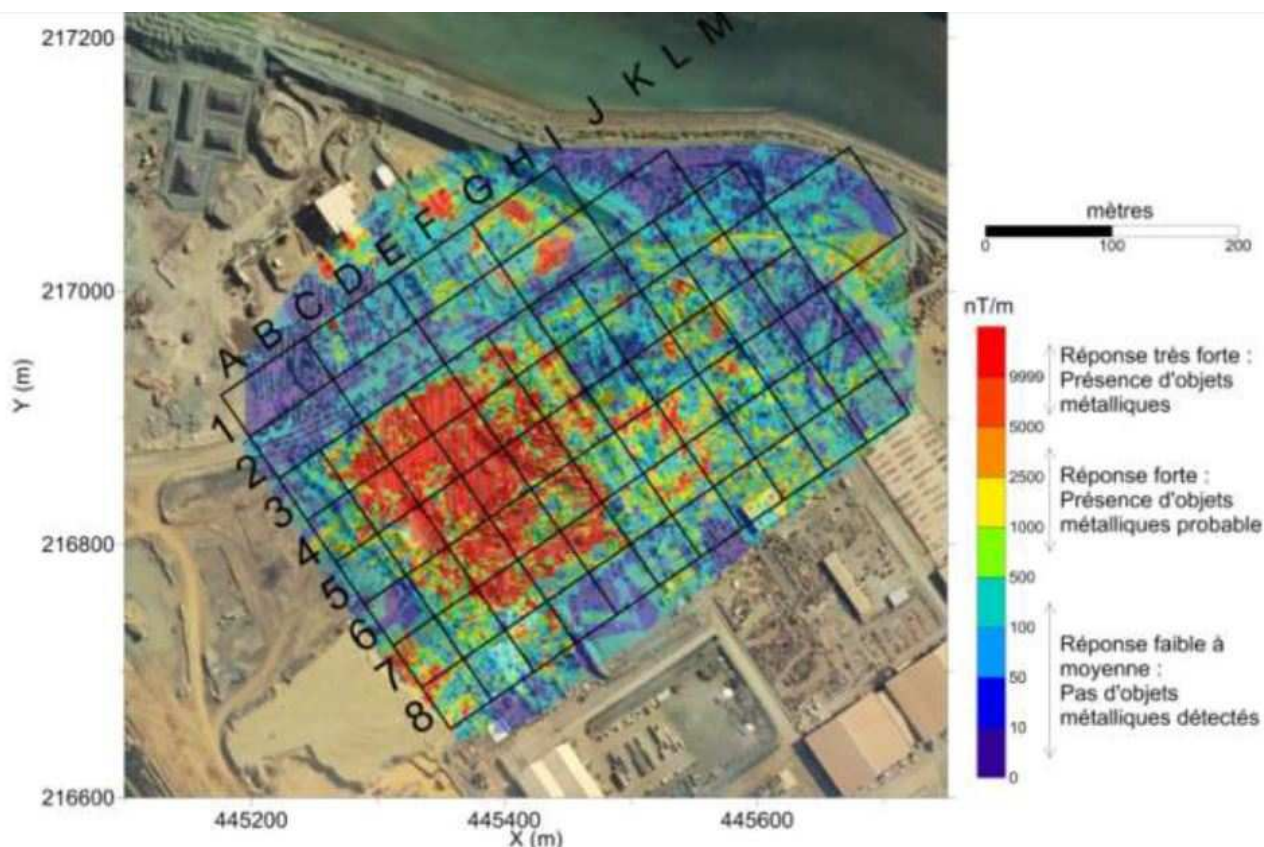
L'échantillonnage de la troisième série d'investigations a porté sur les horizons 0 – 0,5 m, 0,5 – 1 m, 1 – 2 m, 2 – 3 m et 3 – 4 m, avec recherche systématique des PCB et des hydrocarbures.

Une quatrième série d'investigations a été programmée sur l'ensemble du périmètre qui a fait l'objet de stockages de transformateurs pour lever les doutes subsistants sur la pollution aux PCB. Quelques sondages ont également été programmés hors de ce périmètre pour couvrir l'ensemble du domaine d'étude. Des analyses de COHV ont également été programmées pour s'assurer de leur absence sur le site. Enfin, les piézomètres destinés au contrôle des effets de la future centrale sur la qualité de l'eau souterraine ont été réalisés pour disposer d'ouvrages fiables (les autres étant des ouvrages provisoires) sur lesquels des prélèvements peuvent être effectués dans les règles de l'art.

4.2. - RESULTATS DES INVESTIGATIONS : MESURES MAGNETIQUES

La campagne de mesures magnétiques a été réalisée du 12 au 15 novembre 2013 sous le contrôle de la société A2EP qui en a également assuré l'interprétation.

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un gradiomètre GSM19 avec une résolution de 1 à 1,5 m. Il en ressort une cartographie du gradient magnétique qui a mis en évidence la présence d'anomalies magnétiques au droit du parc à ferrailles comme le montre la carte brute des mesures magnétiques présentée ci-dessous.



Carte du gradient magnétique de la zone d'étude

D'autres réponses très fortes localisées ont été mises en évidence, elles correspondent aux zones rouges de la carte ci-dessus. Ces zones rouges sont attribuables soit à la présence d'objets métalliques massifs, soit à une forte densité d'objets métalliques de petites tailles. Les anomalies peuvent être superficielles ou profondes.

4.3. - RESULTATS DES INVESTIGATIONS : QUALITE DES SOLS

4.3.1. - Description des investigations réalisées sur les sols

La stratégie des investigations successives a été détaillée en paragraphe 4.1. Les incertitudes qui sont apparues lors des premières investigations ont été levées par les investigations suivantes, répondant ainsi aux questions qui se posaient en termes de qualité des sols et extensions des anomalies reconnues.

Les investigations réalisées sont décrites ci-dessous, et présentées en figure 4.

Les investigations initiales ont été réalisées du 28 octobre au 8 novembre 2013 avec réalisation de 72 sondages à la pelle (les trois mailles du parc à boue n'ont pas été investiguées) jusqu'à une profondeur maximale de 4 m avec recherche des métaux (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb) et des hydrocarbures totaux sur un échantillon par sondage, et des PCB sur un total de 3 échantillons de la campagne. Les sondages ont été appelés par leur numéro de maille (voir figure suivante). Ainsi, par exemple, le sondage situé dans la maille A1 a été nommé A1.



Investigations initiales : Discretisation du secteur d'étude, localisation des sondages et des piézomètres

- : analyse de l'échantillon de fond
- : analyse de l'échantillon de surface
- : Piézomètre

La zone hachurée correspond au parc à boues en activité au moment de ces investigations

La deuxième série d'investigations a été réalisée du 13 au 14 mai 2014, avec réalisation de 3 sondages à la pelle au droit de l'ancien parc à boues et de 7 sondages de caractérisation de la zone de dépotage dans les mailles H6 et I6 avec au total, 5 analyses d'hydrocarbures, une analyse d'HAP, 5 analyses de métaux, 7 analyses de PCB et 6 tests de lixiviation portant sur 4 métaux. Les sondages du parc à boue ont été appelés par leurs numéros de maille, les sondages de la zone de dépotage ont été appelés par le numéro de maille complété par une lettre d'indice (ex : I6A).

Ces premiers travaux ont immédiatement été suivis par 41 sondages complémentaires à la pelle et un sondage à la tarière réalisés du 15 juillet au 31 juillet 2014, avec un total de 51 analyses d'hydrocarbures, 46 analyses de PCB, 7 analyses de métaux, 22 analyses d'HAP ainsi que 4 analyses de COHV et 4 screenings. Les sondages complémentaires ont été appelés SC1 à SC42.

La troisième série de sondages a été réalisée du 23 septembre au 3 octobre 2014, avec réalisation de 41 sondages à la tarière avec échantillonnage sur les horizons 0 – 0,5 m, 0,5 – 1 m, 1 – 2 m, 2 – 3 m et 3 – 4 m et recherche des hydrocarbures et PCB sur 93 échantillons.

Les sondages réalisés autour des points préoccupants ont été numérotés 101 à 115 (série 100). Les sondages réalisés dans un périmètre plus large autour de ces zones ont été numérotés 201 à 226 (série 200).

La quatrième série, essentiellement consacrée à l'identification des anomalies en PCB a été réalisée en 2015, avec réalisation de 92 sondages avec échantillonnage sur les horizons 0 – 1 m, 1 – 2 m, 2 – 3 m et 3 – 4 m. Les PCB ont été recherchés sur 340 échantillons, les hydrocarbures sur 105 échantillons et les COHV sur 16 échantillons. Six piézomètres ont été réalisés, pour recherche des métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), des hydrocarbures totaux, des HAP, des PCB et des composés organiques volatils (liste EPA).

Les figures suivantes présentent les zones successives d'investigations.



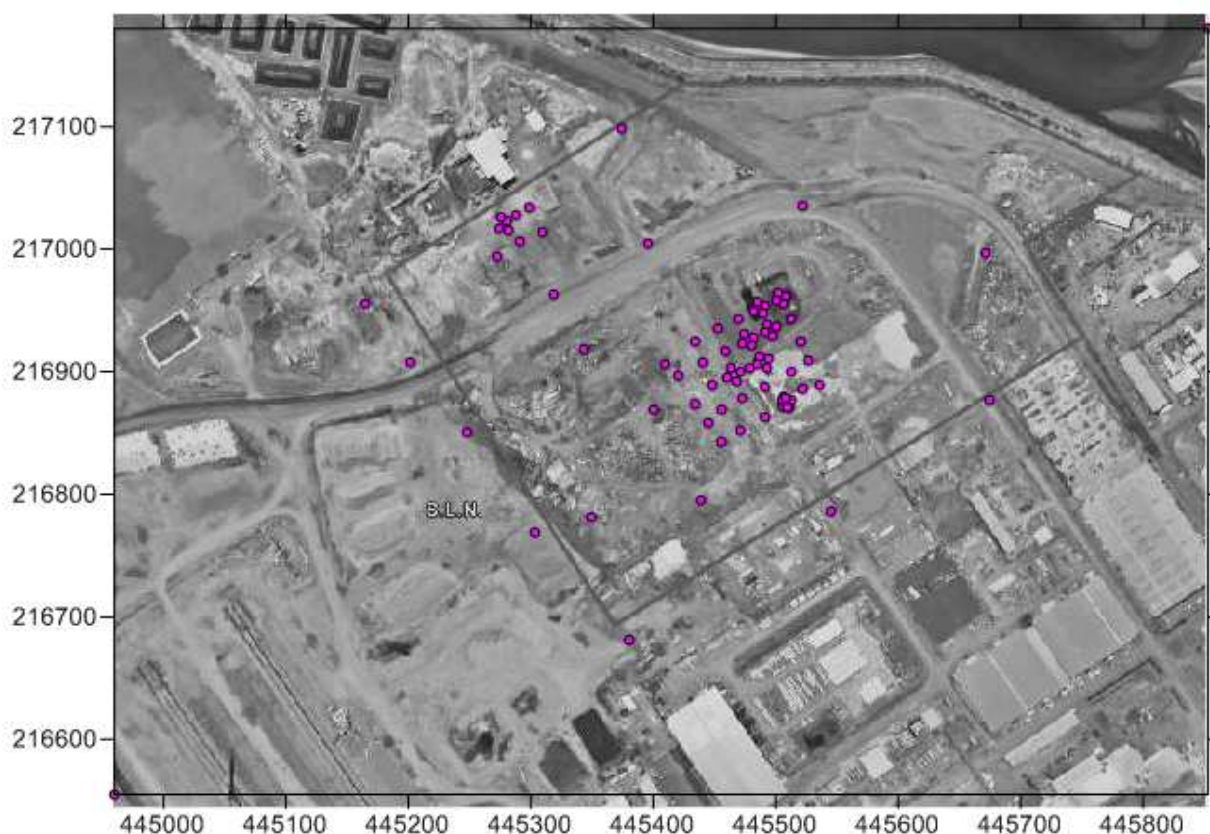
Première phase d'investigations (novembre 2013) : 72 sondages à la pelle, une analyse par sondage



Deuxième phase d'investigations (mai – juillet 2014) : 49 sondages SC_n à la pelle, une à deux analyses par sondage



Troisième phase d'investigations (septembre 2014) : 41 sondages (séries 100 et 200) à la tarière, jusqu'à cinq analyses par sondage



Quatrième phase d'investigations (2015) : 92 sondages (série 300) à la tarière, jusqu'à quatre analyses par sondage

Les plans de localisation des sondages sont présentés en figure hors texte n°4, les coupes des sondages sont présentées en annexe 1. Les résultats des analyses de sols sont présentés en annexe 3.

4.3.2. - Observations de terrain

Les observations réalisées lors des campagnes d'investigations font état de :

- un encaissant généralement constitué de scories de fusion (Demag et Elkem),
- la présence de nombreux débris métalliques de taille décimétrique dans la couche de surface au droit de la zone du parc à ferrailles,
- la présence de nombreux éléments métalliques, ferrailles, tôles, câbles électriques sur SC05, SC35 et SC41
- la présence de ce qui pourrait être une cuve métallique sur SC08,
- l'absence de dépotoirs historiques, de carcasses, de fûts ou de déchets de taille significative sur les autres sondages,
- de fortes odeurs organiques sur les sondages G4, H4, H6, H6B, H6C, I6, I6B et J4, SC08, SC42, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 313, 333, 340, 348, 363, 364, 365, 369, 371, 374, 375, 377
- la présence de surnageant sur SC11
- la présence de scories de nature différente dans la zone B3-B4 : F3-F4

4.3.3. - Fond géochimique local

L'interprétation des concentrations en métaux dans les sols doit s'appuyer sur le fond géochimique local. En l'occurrence, les sols de la plateforme de Doniambo sont essentiellement constitués par des scories issues de l'activité pyrométallurgique du site. D'après les données SLN, ces scories peuvent atteindre une concentration en nickel de 1% (10 000 mg/kg) en masse et une concentration en chrome de 1,1 % (11 000 mg/kg).

Nous ne disposons par contre pas d'analyses en plomb et en zinc des scories produites en 1970-75 qui ont été utilisées pour le remblaiement de la zone. Il ne paraît pas pertinent de prélever des échantillons hors périmètre du projet de la centrale C, car l'ensemble de la plateforme industrielle a fait l'objet d'une exploitation industrielle. Il n'y a donc pas de zones situées hors activité industrielle qui puisse être exploitée pour déterminer le « fond géochimique local » qui correspond à la composition initiale de ces scories.

De ce fait, des analyses de scories fraîches ont récemment été réalisées, elles indiquent les concentrations suivantes :

- Cd : 1 mg/kg
- Cr : 7000 mg/kg
- Cu : 2 mg/kg
- Ni : 700 mg/kg
- Pb : 36 mg/kg.

Comme la faible mobilité des métaux dans les sols limite leur migration aux premiers décimètres de la surface du sol, nous proposons d'évaluer les concentrations en métaux des scories utilisées pour le remblaiement en nous appuyant sur les échantillons prélevés en profondeur, et qui peuvent être considérées comme des scories anciennes non impactées par les activités exercées sur la zone. En effet, 38 analyses de métaux (cadmium, cuivre, plomb, zinc, chrome et nickel) ont été réalisées sur des échantillons profonds (> 1 m). Ces résultats seront ensuite comparés aux résultats des analyses récentes de scories fraîches pour vérifier la cohérence des résultats.

4.3.3.1. - Concentrations en cadmium des sols profonds

Parmi les sols profonds, seuls 3 des 38 échantillons analysés présentent une concentration supérieure au seuil de quantification de 0,5 mg/kg.

Il s'agit des échantillons D4 (1,6 mg/kg), F4 (1,8 mg/kg) et H6 (1,1 mg/kg). Deux de ces échantillons présentent également des concentrations nettement supérieures à la moyenne en cuivre (autour de 200 mg/kg sur D4 et H6).

Ces niveaux de concentration restent cohérents avec la mesure effectuée sur une scorie fraîche (1 mg/kg).

4.3.3.2. - Concentrations en cuivre des sols profonds

Parmi les sols profonds, quelques échantillons se démarquent par des concentrations en cuivre plus importantes pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/kg : 480 mg/kg sur G5, 200 et 210 mg/kg sur H6 et D4. La concentration médiane relevée est de 7 mg/kg, la concentration moyenne est de 35 mg/kg. La figure suivante présente la distribution des concentrations supérieures à 35 mg/kg dans les sols profonds. L'intervalle entre deux courbes est de 35 mg/kg.



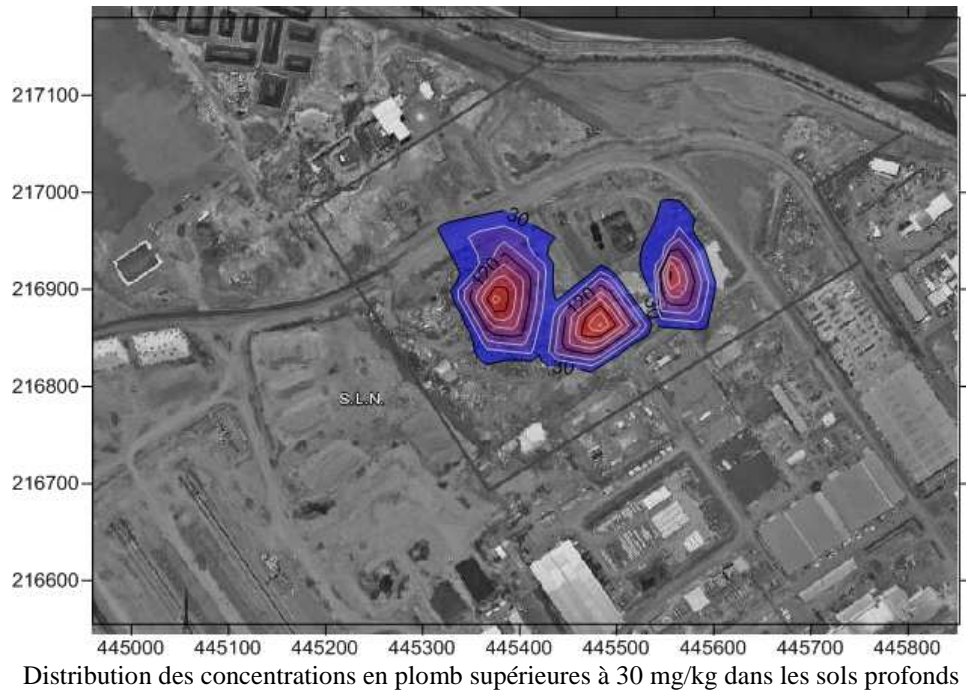
L'analyse réalisée sur une scorie de fraîche production indique une concentration de 2 mg/kg, soit largement moins que ce qui est mesuré sur les scories de la plateforme. Comme la médiane des valeurs mesurées sur la plateforme est tout de même de 7 mg/kg, soit 3,5 fois plus que la concentration de la scorie fraîche, on ne peut pas expliquer cet écart par une contamination des scories de la plateforme. Il peut s'agir d'une autre qualité de minerai, les anciens minerais étaient plus riches en nickel.

4.3.3.3. - Concentrations en plomb des sols profonds

Parmi les sols profonds, quelques échantillons se démarquent par des concentrations en plomb plus importantes, il s'agit de D4 (260 mg/kg), F6 (290 mg/kg) et H6 (230 mg/kg). Les autres échantillons présentent des concentrations inférieures à 100 mg/kg.

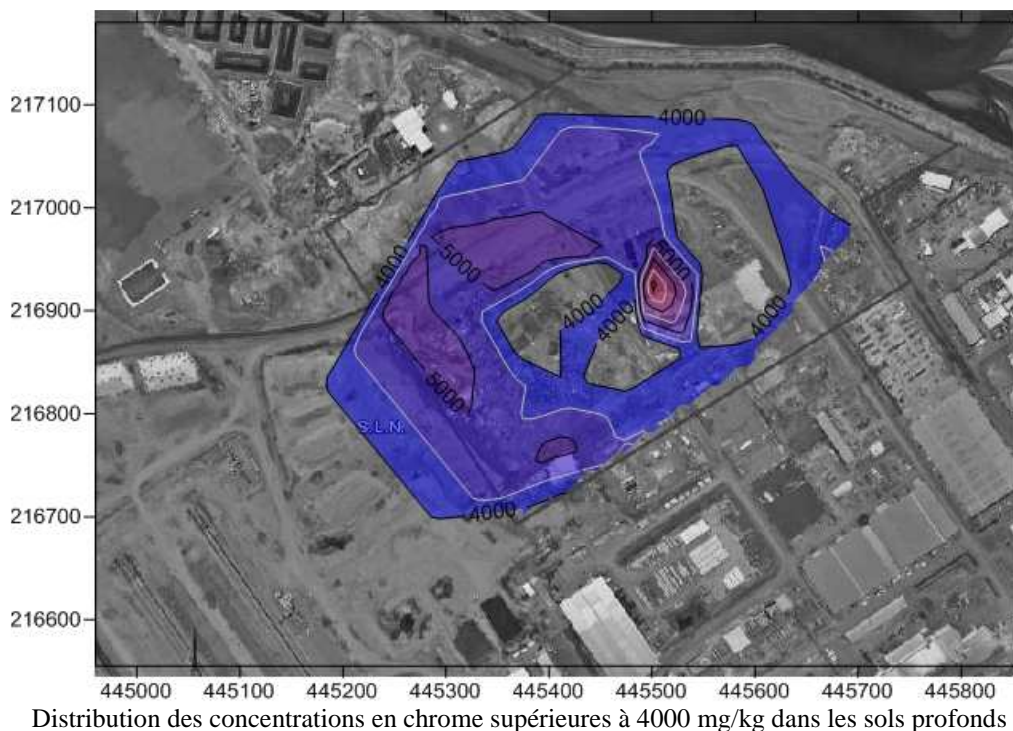
La concentration médiane relevée est inférieure à 10 mg/kg, la concentration moyenne est de 29 mg/kg. La figure suivante présente la distribution des concentrations en plomb supérieures à 30 mg/kg dans les sols profonds. L'intervalle entre deux courbes est de 30 mg/kg.

Nous constatons que les valeurs mesurées sur site sont cohérentes avec l'analyse réalisée sur une scorie fraîche qui indique une concentration en plomb de 36 mg/kg.



4.3.3.4. - Concentrations en chrome des sols profonds

Dans les sols profonds, les concentrations en chrome sont mesurées en 2400 et 7400 mg/kg avec une moyenne de 4290 mg/kg. La médiane s'établit à 4400 mg/kg. Seul l'échantillon G5 présente une concentration supérieure à 6000 mg/kg avec 7400 mg/kg mesurés. La figure suivante présente la distribution des concentrations en chrome supérieure à 4000 mg/kg dans les sols profonds. L'intervalle entre deux courbes est de 500 mg/kg.



Ces concentrations ne sont pas atypiques des concentrations mesurées dans les scories de référence, ni avec la scorie fraîche analysée qui présente une concentration de 7000 mg/kg.

4.3.3.5. - Concentrations en nickel des sols profonds

Dans les sols profonds, les concentrations en nickel sont mesurées en 200 et 14 000 mg/kg avec une moyenne de 2620 mg/kg. La médiane s'établit à 1700 mg/kg.

Les échantillons qui présentent des concentrations singulières sont F4 (14 000 mg/kg), F6 (9600 mg/kg) et D4 (6100 mg/kg). La figure suivante présente la distribution des concentrations en nickel supérieure à 2500 mg/kg dans les sols profonds. L'intervalle entre deux courbes est de 1000 mg/kg.



Distribution des concentrations en nickel supérieures à 2500 mg/kg dans les sols profonds

Ces concentrations ne sont pas atypiques des concentrations mesurées dans les scories de référence. Toutefois, la scorie fraîche analysée indique une concentration de 700 mg/kg. Cette concentration est particulièrement faible. Au vu des hauts-niveaux des concentrations mesurées sur le site, il est peu vraisemblable qu'une pollution des sols puisse en être à l'origine.

4.3.3.6. - Concentrations en autres métaux

Les autres métaux lourds (As, Hg, Zn) ont été recherchés sur 3 échantillons de sols profonds. Les analyses indiquent que les concentrations en arsenic et en mercure restent inférieures aux seuils de quantification à respectivement 2 et 0,1 mg/kg, et que le zinc est mesuré en concentrations comprises entre 63 et 91 mg/kg avec une moyenne de 79 mg/kg. Ces gammes de valeur sont habituellement rencontrées dans les sols naturels pour ces éléments. L'analyse de scorie fraîche a indiqué une concentration en zinc de 200 mg/kg, ce qui est supérieur aux valeurs mesurées sur site.

4.3.3.7. - Synthèse des singularités en métaux sur les sols profonds

Les analyses de métaux sur les sols profonds ont été synthétisées par les cartographies présentées dans les paragraphes précédents. Ces cartographies laissent apparaître la présence de points « spots » pour le cuivre, le plomb et le nickel.

Pour déterminer les relations entre les singularités constatées pour les différents paramètres dans les sols profonds, nous synthétisons dans le tableau suivant les résultats des analyses en métaux des échantillons concernés.

	Cadmium (mg/kg)	Cuivre (mg/kg)	Plomb (mg/kg)	Chrome (mg/kg)	Nickel (mg/kg)
D4	1.6	210	260	3100	6100
F4	<0.5	15	<10	2600	14000
F6	1.8	91	290	3100	9300
G5	<0.5	480	<10	7400	2600
H6	1.1	200	230	3000	300
I7	<0.5	2	<10	3600	200

En caractères gras rouges : les concentrations singulières constatées dans les sols profonds

Nous constatons que les principales singularités constatées dans les sols profonds se concentrent sur 6 échantillons parmi les 38 analysés :

- D4 présente des anomalies significatives en cadmium, cuivre et plomb. La concomitance de ces trois anomalies indique que l'échantillon est impacté et n'est donc pas représentatif de la qualité des scories pour ces paramètres ;
- F6 présente des anomalies significatives en cadmium et plomb, la concentration en cuivre est également plus haute que la moyenne. Pour F6 également, il apparaît que l'échantillon est impacté et n'est donc pas représentatif de la qualité des scories pour ces paramètres ;
- H6 présente des anomalies significatives en cadmium, cuivre et plomb. La concentration en nickel est très faible. Cet échantillon est aussi impacté et n'est donc pas représentatif de la qualité des scories pour ces paramètres ;
- G5 présente une anomalie en cuivre et en chrome. Il apparaît que l'échantillon est impacté et n'est donc pas représentatif de la qualité des scories pour ces paramètres ;
- F4 et I7 présentent uniquement des concentrations singulières en nickel : la concentration mesurée sur I7 est très basse, celle de F4 est la plus élevée du secteur d'étude. La faible valeur relevée sur I7 pourrait être liée à une scorie pauvre ou à un mélange de scorie avec d'autres matériaux. La valeur élevée mesurée sur F4 pourrait au contraire être une scorie riche. La présence locale de scories plus riches en nickel n'est pas surprenante, elle pourrait être liée au procédé de séparation du ferronickel et de la scorie, mais elle pourrait également être liée à un mélange de scorie et de minerai. Selon les observations faites lors des prélèvements, les échantillons F4 et I7 correspondent à de la scorie

4.3.3.8. - Conclusions sur le fond géochimique de la plateforme

Ces cartographies laissent apparaître que pour le cuivre et le plomb, les concentrations supérieures à la concentration moyenne des sols profonds correspondent à des points spots. Ces

concentrations ne sont donc pas à retenir comme des concentrations « naturelles » des scories ayant servi à la constitution de la plateforme. Pour ces éléments (cuivre et plomb), les concentrations moyennes mesurées dans les sols profonds semblent pertinentes pour caractériser la concentration maximale du fond géochimique local. Pour le plomb, la concentration moyenne est inférieure à la concentration mesurée dans une scorie de fraîche production. Pour le cuivre par contre, la scorie de fraîche production qui a été analysée présente une concentration très faible à 2 mg/kg, alors que la moyenne du site est de 35 mg/kg et la médiane est de 7 mg/kg. Nous retiendrons donc la concentration moyenne qui nous paraît plus pertinente que la concentration de 2 mg/kg.

Pour le chrome, il apparaît que la concentration moyenne de 4290 mg/kg est dépassée sur une grande partie du secteur d'étude, ce qui est dû à la dispersion modérée des concentrations mesurées autour de la valeur moyenne. Les concentrations sont en effet comprises entre 2400 et 7400 mg/kg. Il n'y a donc pas de point spot, même si un seul échantillon présente une concentration supérieure à 6000 mg/kg. Cet échantillon est également concerné par des dépassements des concentrations moyennes pour d'autres métaux, on le retiendra donc comme non représentatif de la qualité des scories. Nous retiendrons donc la concentration de 6000 mg/kg pour représenter la concentration maximale du fond géochimique. La scorie fraîche présente quant à elle une concentration de 7 000 mg/kg.

Pour le nickel, il apparaît que la concentration moyenne de 2620 mg/kg est dépassée sur une partie relativement étendue du secteur d'étude. Les concentrations mesurées sur les sols profonds sont comprises entre 200 et 14000 mg/kg, ce qui constitue un intervalle très large qui ne peut pas s'expliquer par les seules variations naturelles de la qualité des scories. La scorie fraîche présente quant à elle une concentration de 700 mg/kg qui nous paraît également faible, et qui est inférieure aux valeurs généralement mesurées sur les scories (de l'ordre de 10 000 mg/kg). Concernant les valeurs extrêmes mesurées sur site :

- la valeur de 200 mg/kg pourrait être liée à un mélange de scorie et d'autre déblais, ce qui aurait pour effet de diminuer la concentration en nickel de la scorie dans la masse de l'échantillon ; Toutefois, les observations de terrain ont identifié cet échantillon comme étant de la scorie, il pourrait donc s'agir d'une scorie pauvre en nickel ;
- la valeur de 14 000 mg/kg est trop élevée par rapport aux autres échantillons, elle pourrait être liée à la présence de minerais dans les sols, mais les observations de terrain indiquent qu'il s'agit d'une scorie. On en déduit que soit, la fraction de minerai dans le mélange est faible (mais il faudrait 30% à 40% de minerai à respectivement 4% et 3% pour atteindre cette concentration), soit il s'agit d'une scorie riche en nickel.

Selon les observations de terrain, la présence de minerai est fréquente au niveau du sol, vraisemblablement du fait du stockage de dépôts de minerais. Il apparaît dès lors que l'interprétation des concentrations en nickel est problématique, car cette concentration est très différente entre le minerai brut (plusieurs %) et la scorie issue du traitement du minerai (généralement inférieure à 1%, mais qui peut toutefois être supérieure, suivant la méthode de séparation de la scorie en fin du procédé de production). Par ailleurs, le minerai a une origine locale et ses gisements sont rencontrés à l'affleurement sur l'île. Il n'est donc pas non plus exclu que des stériles de l'exploitation minière ou des minerais jugés de qualité insuffisante aient, à l'époque, également été utilisés pour la constitution de la plateforme industrielle, ce qui pourrait expliquer des variations très significatives des concentrations pour cet élément. De ce fait, nous proposons de retenir, à titre indicatif, comme concentration maximale en nickel du « fond

géochimique local », la concentration maximale mesurée dans les sols profonds, c'est-à-dire 14 000 mg/kg.

Pour le cadmium qui n'est généralement pas quantifié (concentration inférieure à 0,5 mg/kg), nous retiendrons comme concentration maximale du fond géochimique, le seuil de quantification de 0,5 mg/kg.

Pour l'arsenic et le mercure qui n'ont pas été quantifiés, nous retiendrons comme concentrations maximales du fond géochimique, leurs seuils de quantification respectifs de 2 et 0,1 mg/kg.

Pour le zinc qui a été mesuré entre 63 et 91 mg/kg, nous proposons de retenir une concentration maximale du fond géochimique égale à 2 fois la concentration moyenne mesurée dans les sols profonds (79 mg/kg), c'est-à-dire 158 mg/kg, concentration inférieure à la concentration mesurée sur des scories fraîches de production récente, qui est de 200 mg/kg.

Le tableau suivant présente les valeurs maximales de référence que nous proposons de retenir pour le fond géochimique sur la plateforme industrielle du projet.

As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
2	0.5	6 000	35	0.1	14 000	29	158

Concentrations maximales du fond géochimique en mg/kg MS

Les ordres de grandeur obtenus peuvent être comparés à titre d'information, aux concentrations naturelles dans les sols de France Métropolitaine (programme ASPITET 2000) présentées ci-dessous.

ASPITET 2000

VARIABILITÉ des TENEURS NATURELLES dans les SOLS (France) Teneurs totales HF

TOUS HORIZONS

		Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe
Nb valeurs		1808	924	1807	1812	1813	1819	1826	1661
Minimum	P0	< 0,02	< 1,0	< 2,0	< 1,0	< 1,0	2,0	3,5	0,03
1er décile	P10	0,04	3,5	23,0	5,3	7,8	16,7	30,0	1,07
1er quartile	P25	0,09	8,0	40,3	8,5	14,9	22,7	46,5	1,94
Médiane	P50	0,19	12,2	59,5	13,5	27,2	31,6	72,0	2,96
3ème quartile	P75	0,48	19,6	80,4	19,5	41,1	44,1	117,3	4,20
9ème décile	P90	1,05	30,6	108,0	33,9	63,4	73,2	212,0	5,97
Maximum	P100	22,00	148,0	3179,0	436,4	2076,9	3560,0	9956,0	22,87

Il apparaît que mis à part le chrome et le nickel qui sont caractéristiques des scories de Doniambo, les concentrations en autres métaux retenus pour le fond géochimique local sont comparables aux concentrations des sols de métropole.

Concernant les composés organiques (hydrocarbures, HAP, PCB), nous nous appuyerons sur l'hypothèse étayée par quelques résultats d'analyses de scories fraîches, qu'ils ne sont pas présents dans les scories. Les concentrations de ces composés retenues pour le fond géochimique sont donc nulles.

4.3.4. - Résultats des analyses de sols

La campagne de novembre 2013 a donné lieu à l'analyse de 73 échantillons de sols avec recherche des hydrocarbures totaux sur chaque échantillon, des métaux (63 échantillons), d'un screening sur 4 échantillons et des PCB sur 3 échantillons.

4.3.4.1. - Résultats des screening

Sur la base des informations organoleptiques récoltées sur le terrain, les screenings ont été réalisés sur 5 échantillons (G7, H6, J4, A4, E4, voir leur localisation en figure 4) prélevés lors de la première campagne de sondages. Le screening a porté sur les composés organiques suivants : hydrocarbures, BTEX, HAP, COHV, phénols, phtalates, PCB, pesticides, terpènes et éthers.

Les résultats de ces tests indiquent :

- la non détection des éthers, terpènes, PCB, pesticides, phtalates, phénols, COHV et BTEX
- la détection d'HAP sur H6, A4 et E4 à respectivement 5,1 - 0,3 et 0,4 mg/kg
- la détection d'hydrocarbures sur H6 (11 000 mg/kg), J4 (950 mg/kg) et E4 (260 mg/kg).

4.3.4.2. - Concentrations en métaux

Les métaux qui ont été recherchés sont principalement le cadmium, le cuivre, le chrome, le nickel et le plomb. Le mercure, l'arsenic et le zinc ont également été recherchés sur des échantillons prélevés lors de la seconde campagne de sondages.

L'arsenic, le mercure et le zinc

L'arsenic a été recherché sur 4 échantillons de l'horizon superficiel 0 – 1 m provenant des sondages SC24, SC26, SC31 et SC32.

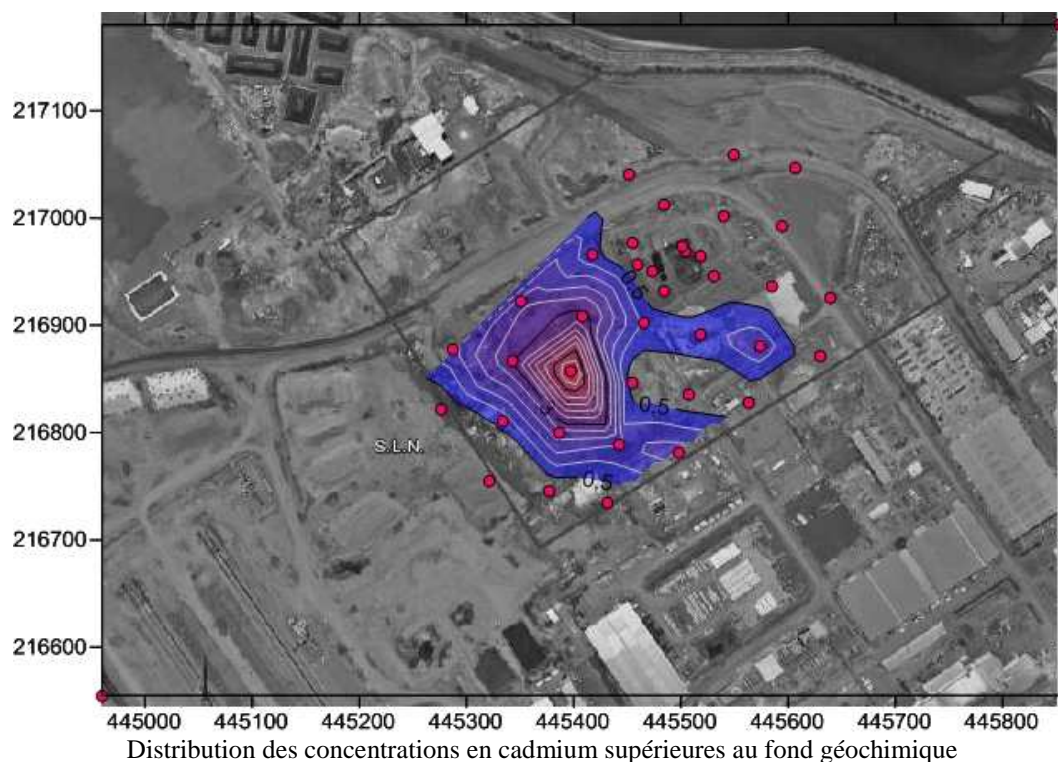
L'arsenic et le mercure n'ont pas été détectés et restent respectivement inférieurs à 2 et 0,1 mg/kg.

Le zinc a été détecté sur les 4 échantillons en concentrations comprises entre 96 et 160 mg/kg. Ces niveaux de concentration restent cohérents avec le fond géochimique retenu pour la plateforme.

Le cadmium

Le cadmium a été recherché sur 37 échantillons de l'horizon superficiel. Les concentrations mesurées sont comprises entre <0.5 et 7 mg/kg. La valeur médiane est inférieure au seuil de quantification et la moyenne est de 0,7 mg/kg. La concentration la plus élevée est mesurée sur D5. La deuxième concentration la plus élevée est moitié moindre. Il apparaît que le maximum est un point spot.

La distribution des concentrations en cadmium obtenue par triangulation linéaire est présentée ci-dessous.



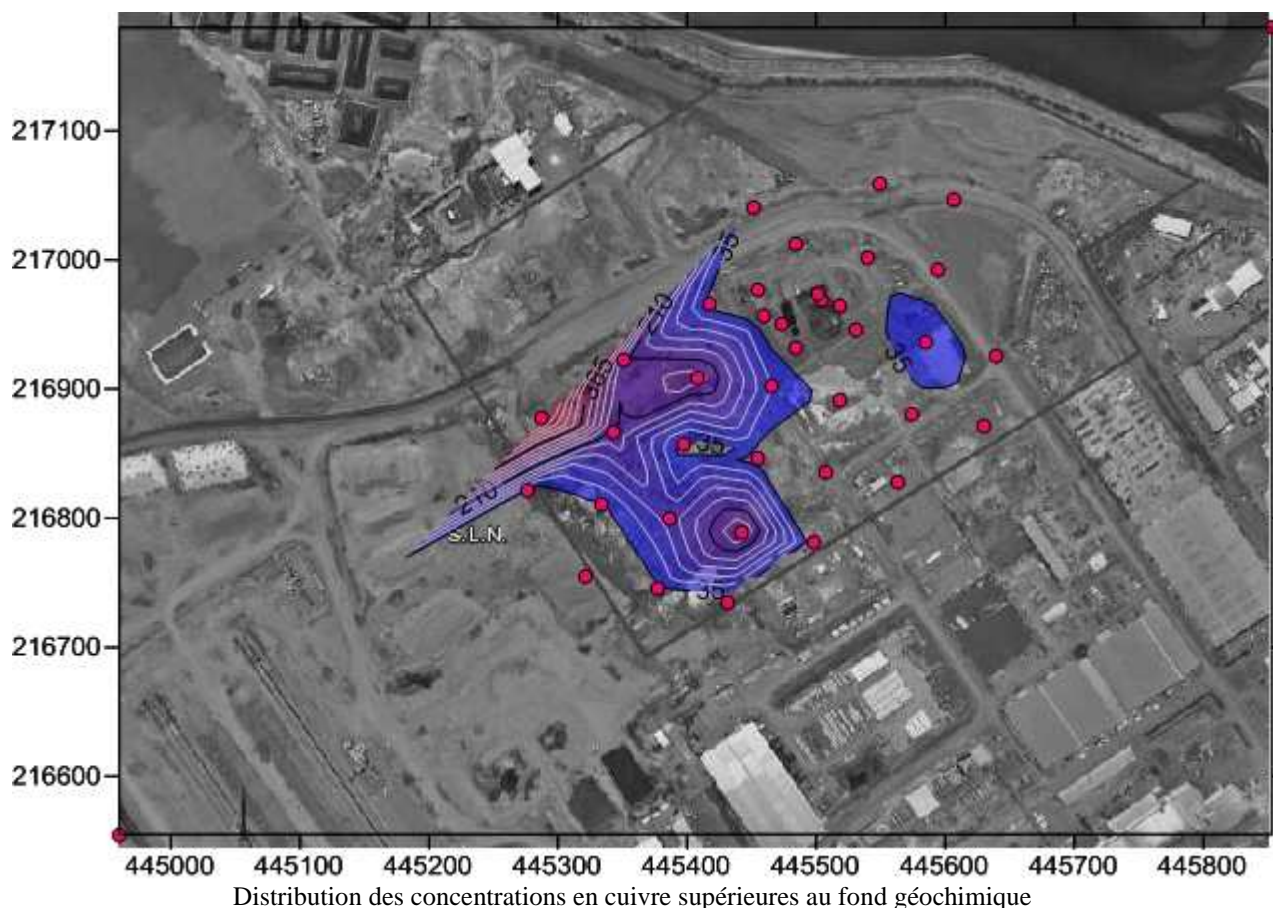
L'enveloppe des courbes représente le bruit de fond fixé à 0,5 mg/kg, la différence de concentrations entre deux lignes est de 0,5 mg/kg.

Nous constatons que l'anomalie en cadmium est liée au parc à ferrailles.

Le cuivre

Le cuivre a été recherché sur 37 échantillons de l'horizon superficiel. Les concentrations mesurées sont comprises entre <1 et 600 mg/kg. La valeur médiane est de 7 mg/kg et la moyenne est de 53 mg/kg. La concentration la plus élevée est mesurée sur B3. La deuxième concentration la plus élevée est moitié moindre. Le maximum est un point spot.

La distribution des concentrations en cuivre obtenue par triangulation linéaire est présentée ci-dessous.



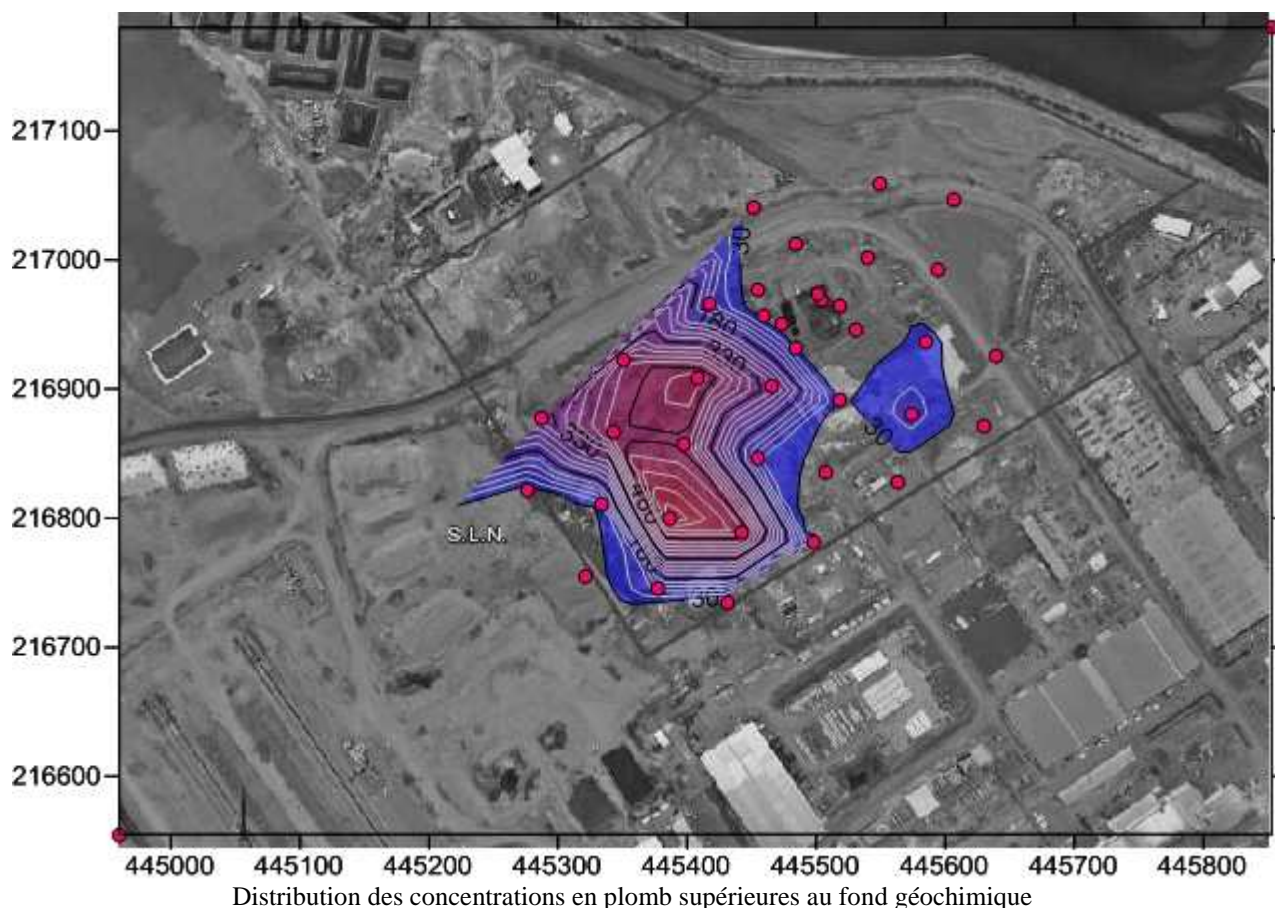
L'enveloppe des courbes représente le bruit de fond maximal de 35 mg/kg, la différence de concentrations entre deux lignes est de 35 mg/kg.

Nous constatons que l'anomalie en cuivre est liée au parc à ferrailles. La valeur maximale est rencontrée dans la zone qui a été touchée par un incendie.

Le plomb

Le plomb a été recherché sur 37 échantillons de l'horizon superficiel. Les concentrations mesurées sont comprises entre <10 et 630 mg/kg. La valeur médiane est inférieure au seuil de détection et la moyenne est de 108 mg/kg. La concentration la plus élevée est mesurée sur C6, six échantillons présentent des concentrations comprises entre 450 et 630 mg/kg.

La distribution des concentrations en plomb obtenue par triangulation linéaire est présentée ci-dessous.



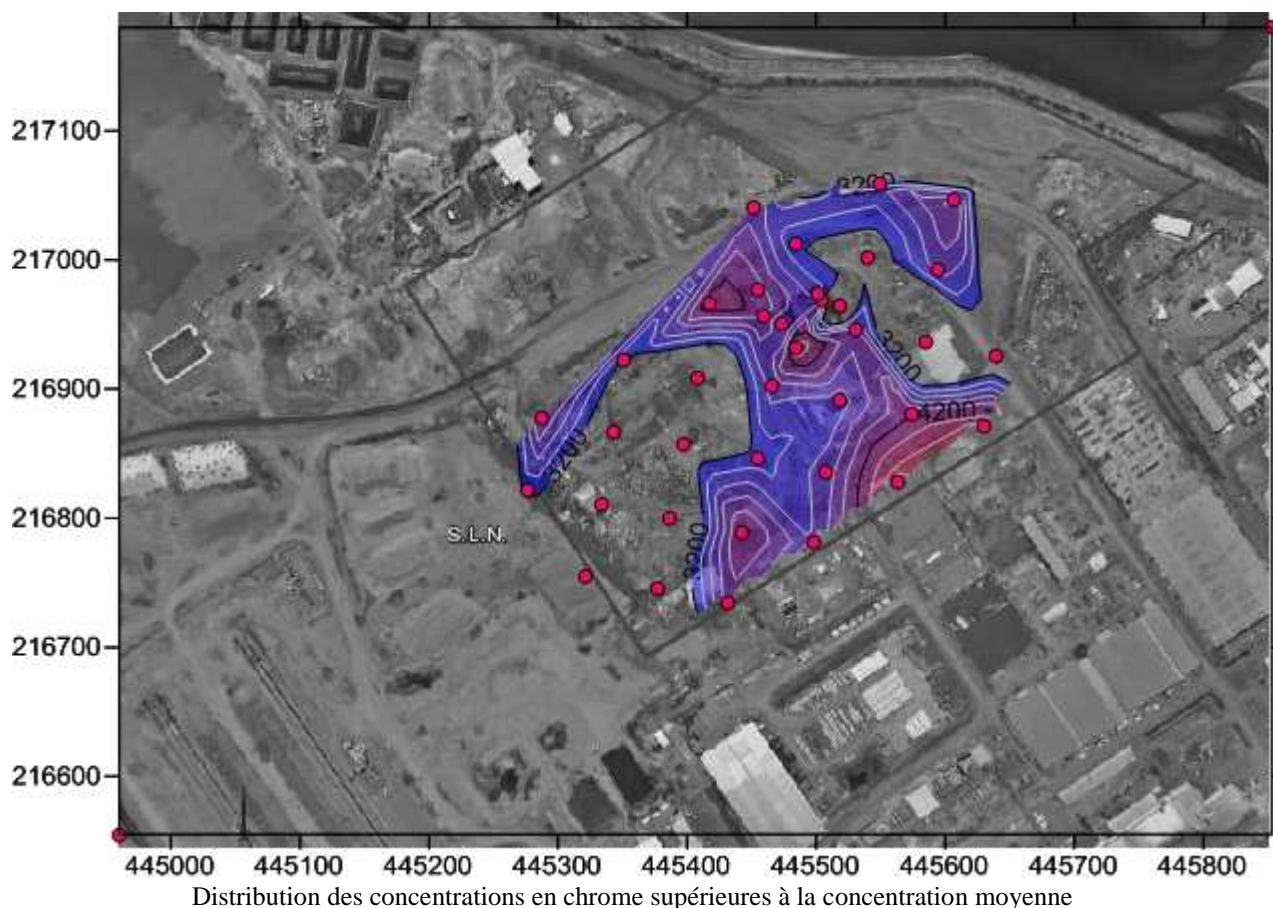
L'enveloppe des courbes représente le bruit de fond maximal arrondi à 30 mg/kg, la différence de concentrations entre deux lignes est de 30 mg/kg.

Nous constatons que l'anomalie en plomb est liée au parc à ferrailles. Les concentrations les plus importantes sont rencontrées dans la partie centrale du parc à ferrailles.

Le chrome

Le chrome a été recherché sur 37 échantillons de l'horizon superficiel. Les concentrations mesurées sont comprises entre 480 et 4800 mg/kg. La valeur médiane est de 3500 mg/kg et la moyenne est de 3200 mg/kg. La concentration la plus élevée est inférieure à la valeur retenue pour le fond géochimique maximal qui est de 6000 mg/kg.

La distribution des concentrations en chrome obtenue par triangulation linéaire est présentée ci-dessous pour les concentrations supérieures à la concentration moyenne relevée sur le secteur d'étude.



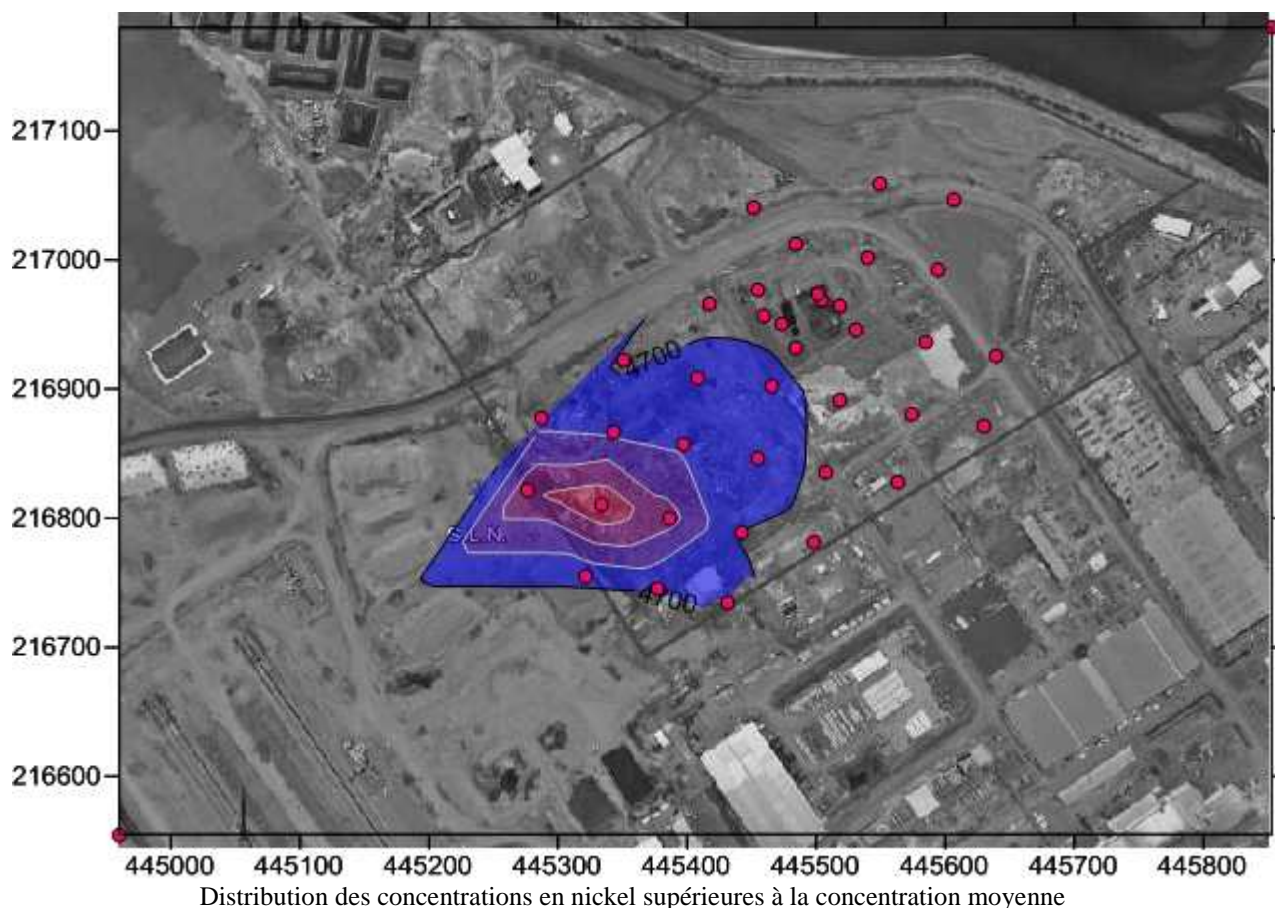
L'enveloppe des courbes représente la concentration moyenne sur la zone (3200 mg/kg) et la différence de concentrations entre deux lignes est de 200 mg/kg.

Nous constatons qu'au niveau du parc à ferrailles, les concentrations sont inférieures à la concentration moyenne et que les concentrations les plus élevées sont mesurées au droit du parc à boues et en limite sud-est de la zone. Ces variations pourraient être liées à la composition intrinsèque des scories. Nous ne retiendrons pas d'impact en chrome sur la zone étudiée.

Le nickel

Le nickel a été recherché sur 37 échantillons de l'horizon superficiel. Les concentrations mesurées sont comprises entre 740 et 23 000 mg/kg. La valeur médiane est de 2500 mg/kg et la moyenne est de 4700 mg/kg. Les concentrations supérieures à 14 000 mg/kg retenue à titre indicatif pour le fond géochimique de référence sont mesurées sur B5 (23 000 mg/kg), A4 (18 000 mg/kg) et C6 (16 000 mg/kg).

La distribution des concentrations en nickel obtenue par triangulation linéaire est présentée ci-dessous pour les concentrations supérieures à la concentration moyenne relevée sur le secteur d'étude.



La pointe qui s'échappe du domaine d'étude est un artefact d'interpolation, elle n'a aucune signification.

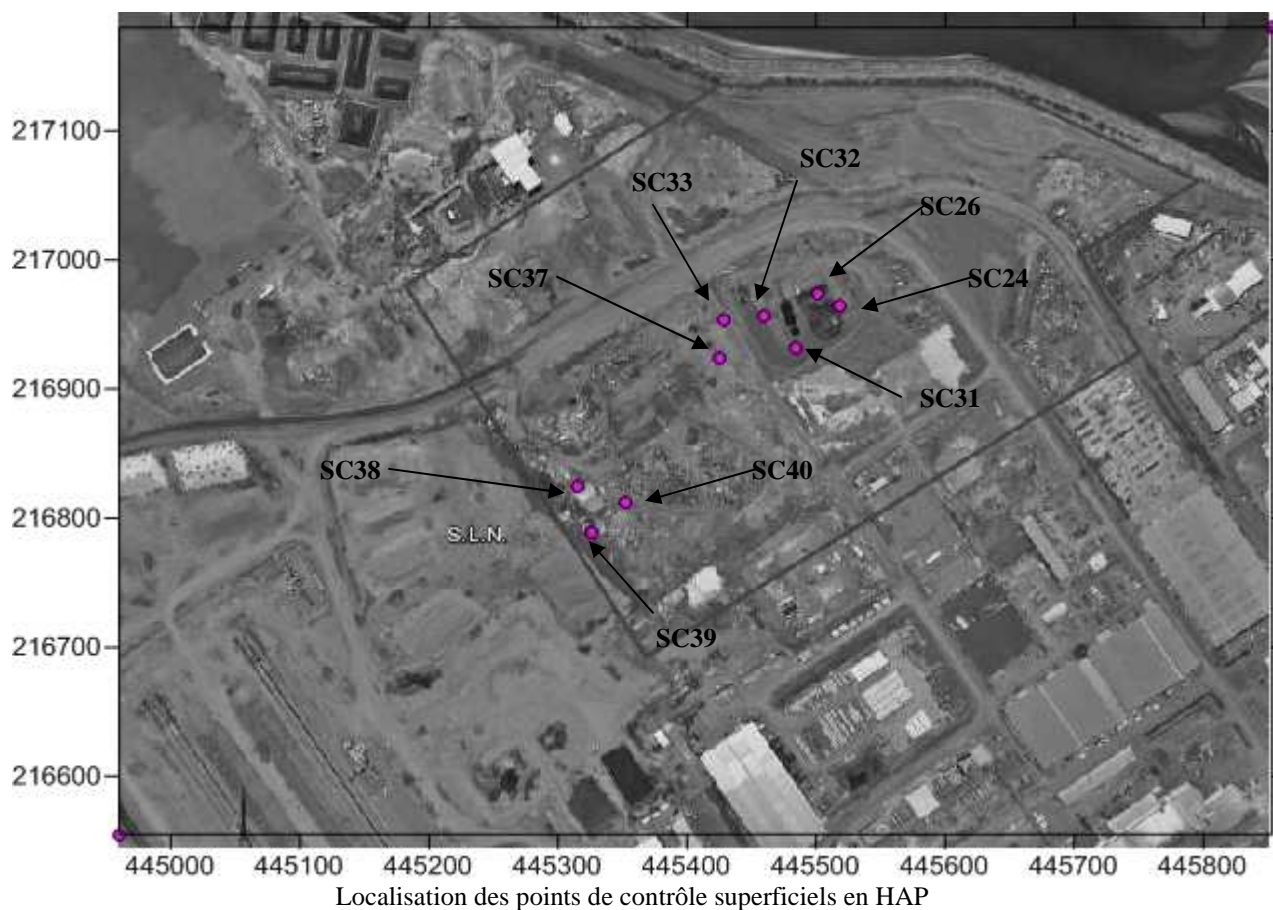
L'enveloppe des courbes représente la concentration moyenne sur la zone (4700 mg/kg) et la différence de concentrations entre deux lignes est de 4700 mg/kg.

Nous constatons que les concentrations les plus élevées sont mesurées en limite sud-ouest du secteur d'étude, elles pourraient être liées aux dépôts de minerais qui avaient lieu dans la zone, ainsi qu'au parc d'homogénéisation. Du fait du contexte géologique particulier du territoire, ces concentrations ne sont pas à considérer comme des anomalies.

4.3.4.3. - Concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques – Horizon 0 – 1 m

Les HAP ont été recherchés sur 9 échantillons de l'horizon superficiel. Les concentrations mesurées sont comprises entre 0 et 77 mg/kg pour la somme des 16 congénères. La concentration la plus élevée a été mesurée sur SC31.

La localisation des points de contrôle et les résultats sont présentés ci-après.

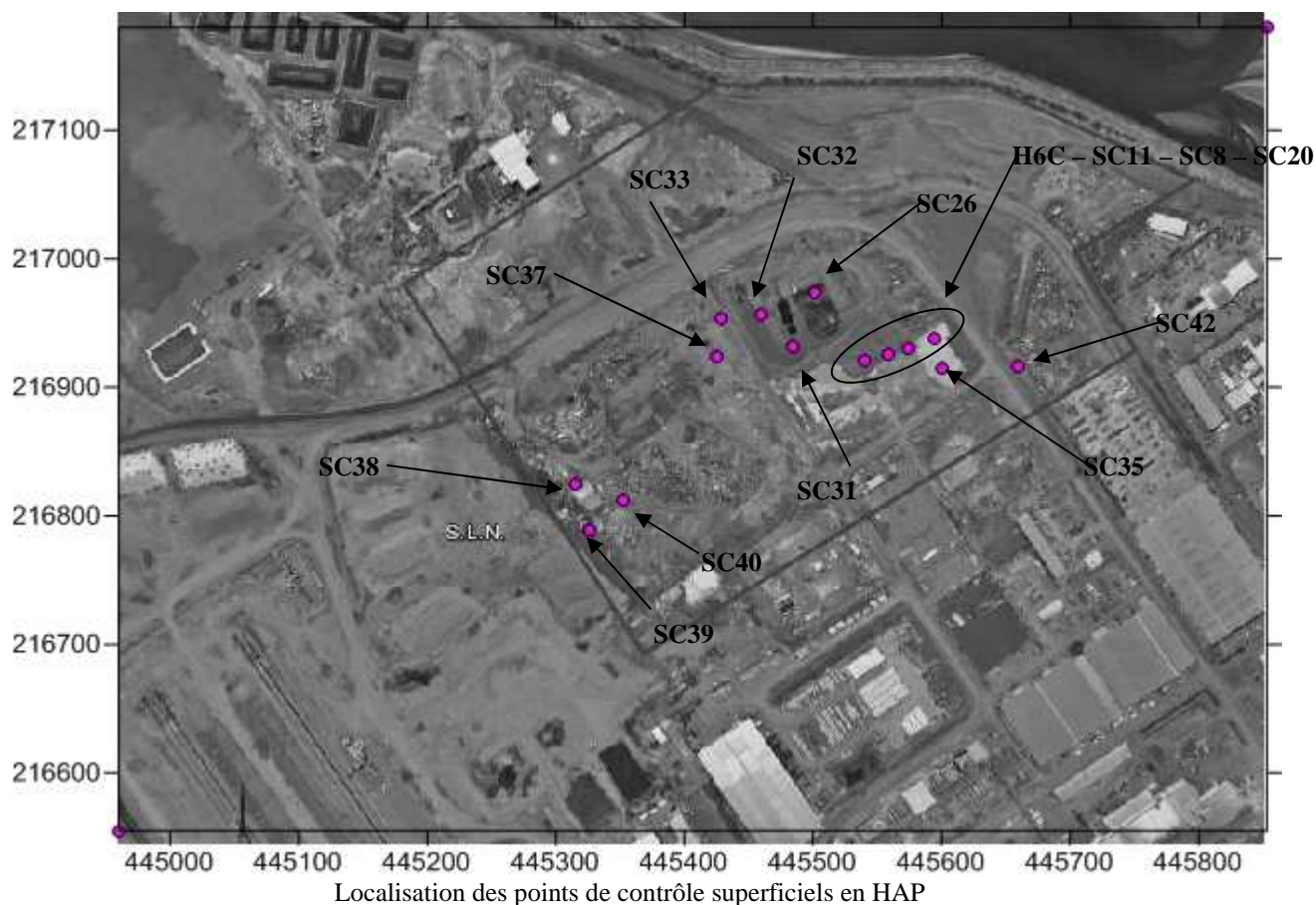


Sondage	HAP(16) (mg/kg)	Sondage	HAP(16) (mg/kg)
SC24	0	SC37	0.5
SC26	0	SC38	6
SC31	77	SC39	3.6
SC32	0	SC40	1.6
SC33	0		

Nous constatons que l'anomalie correspond à un point isolé et que les points voisins ne sont pas impactés. Le naphthalène n'est détecté sur aucun sondage (< 0.5 mg/kg).

4.3.4.4. - Concentrations en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques – Horizon 1 – 4 m

Les HAP ont été recherchés sur 14 échantillons de l'horizon profond 1 – 4m. Les concentrations mesurées sont comprises entre 0 et 4,8 mg/kg. La localisation des points de contrôle et les résultats sont présentés ci-après.



Sondage	HAP(16) (mg/kg)	Sondage	HAP(16) (mg/kg)
H6C	2.9	SC33	0.07
SC8	2.6	SC35	3.9
SC11	0	SC37	0
SC20	0.11	SC38	0
SC26	0	SC39	0
SC31	1	SC40	4.8
SC32	0	SC42	2.6

Nous constatons que les concentrations en HAP(16) restent à un niveau modéré. Le naphtalène est détecté sur SC8 (0.81 mg/kg), SC35 (0.033 mg/kg) et SC42 (0.81 mg/kg).

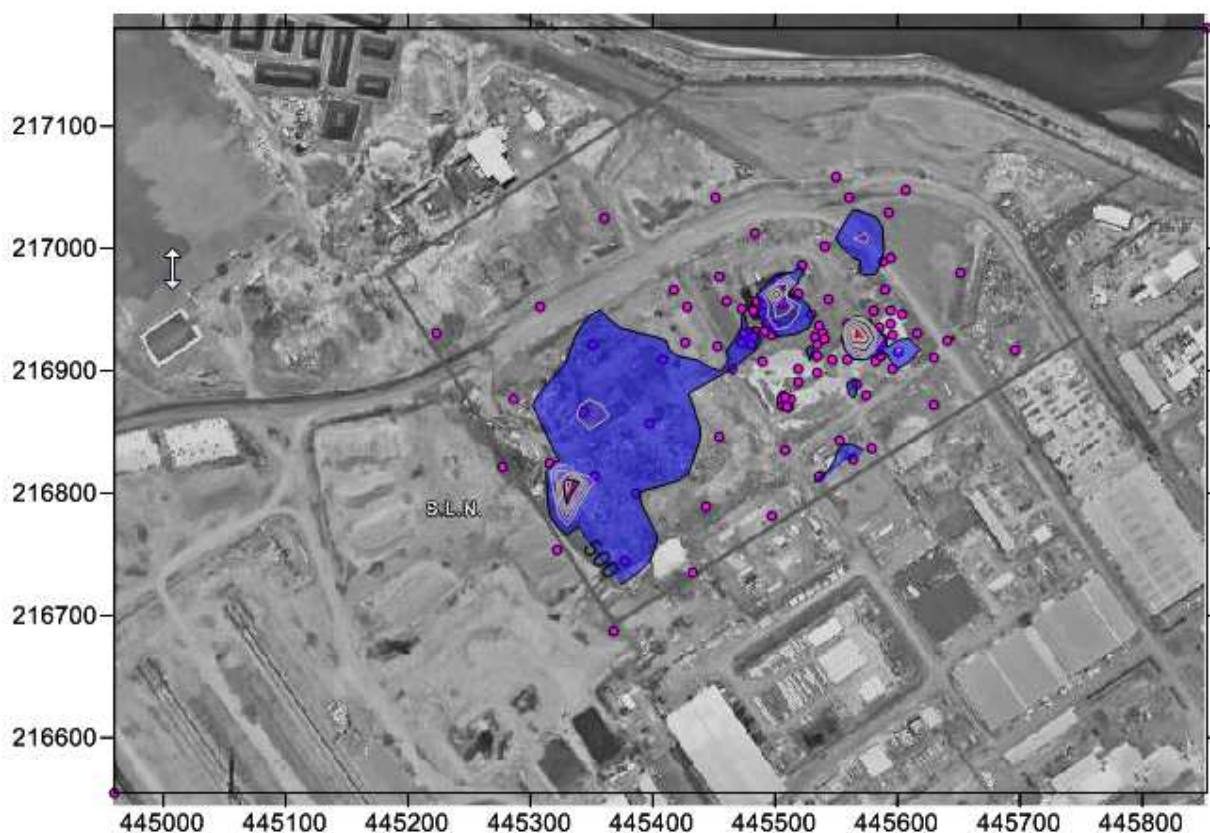
4.3.4.5. - Concentrations en Hydrocarbures totaux

Horizons superficiels

Dans les deux premières phases d'investigations du diagnostic, les hydrocarbures ont été mesurés sur l'horizon 0 – 1 m. Lors de la troisième phase d'investigations, ils ont été mesurés sur l'horizon 0 - 0,5 m et sur l'horizon 0,5 – 1 m. Ces derniers résultats seront détaillés dans les zooms cartographiques.

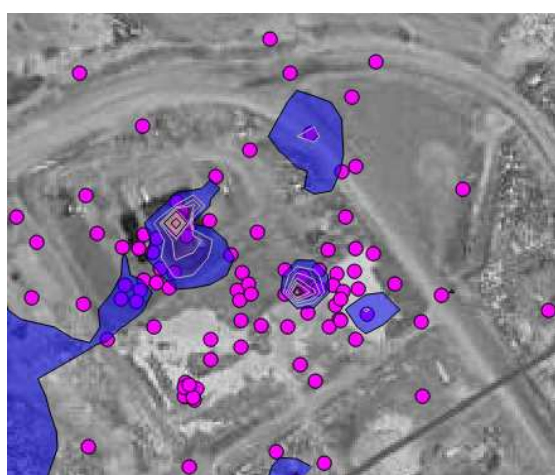
Enfin, dans la quatrième série d'investigations, ils ont été mesurés entre 0 et 1 m.

Les concentrations mesurées sont généralement faibles, mais elles peuvent localement être importantes. Les figures suivantes présentent les distributions des concentrations en hydrocarbures supérieures à 500 mg/kg.

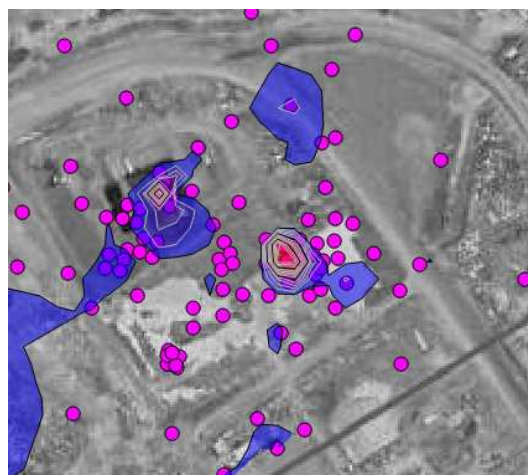


Concentrations en hydrocarbures totaux dans l'horizon 0 – 1 m

Ci-dessous, nous présentons la distribution des concentrations dans la zone ayant fait l'objet d'investigations approfondies, avec distinction des horizons 0 – 0,5 m et 0,5 – 1 m.



Horizon 0 – 0,5 m



Horizon 0,5 – 1 m

Les enveloppes bleues présentées correspondent à l'iso-concentration 500 mg/kg. Chaque ligne intérieure correspond à une différence de 1000 mg/kg. Chaque point magenta correspond à une analyse des hydrocarbures.

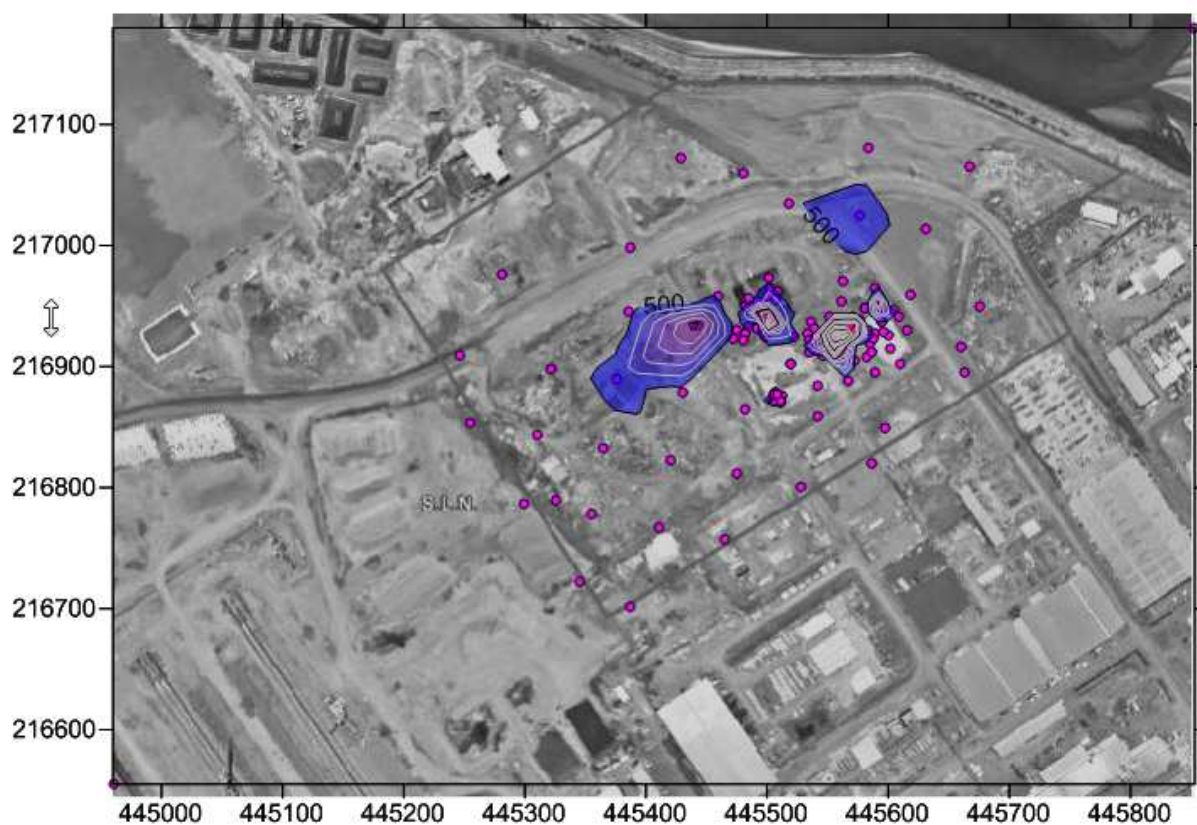
En résumé, nous constatons :

- qu'une grande partie du parc à ferrailles présente des concentrations supérieures à 500 mg/kg, et qu'une anomalie singulière y est mesurée sur B5, à 8500 mg/kg,
- une anomalie dans le parc à boue, sur H4, à 6100 mg/kg,
- une anomalie significative au sud du parc à boues, sur 105-107 à 12000 mg/kg entre 0 et 0,5 m puis à 24000 mg/kg sur l'horizon 0,5 – 1 m.

Horizons profonds

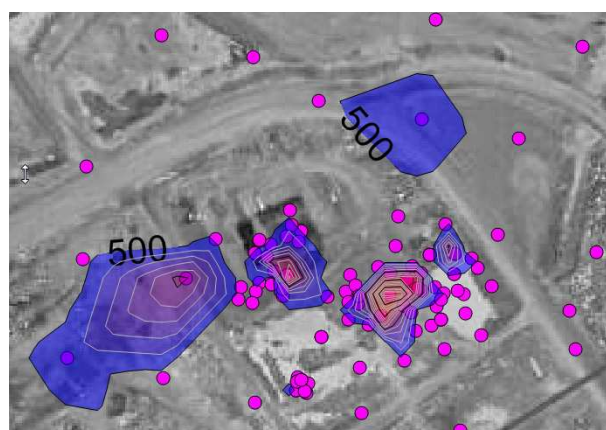
Lors des premières campagnes de sondages, les hydrocarbures ont été mesurés sur l'horizon 1 – 4 m. Lors des troisième et quatrième phases d'investigations, ils ont été mesurés sur les horizons 1 – 2 m, 2 – 3 m et 3 – 4 m. Ces derniers résultats seront détaillés dans les zooms cartographiques.

Les concentrations mesurées sont généralement faibles, mais elles peuvent localement être importantes. Les figures suivantes présentent les distributions des concentrations en hydrocarbures supérieures à 500 mg/kg.

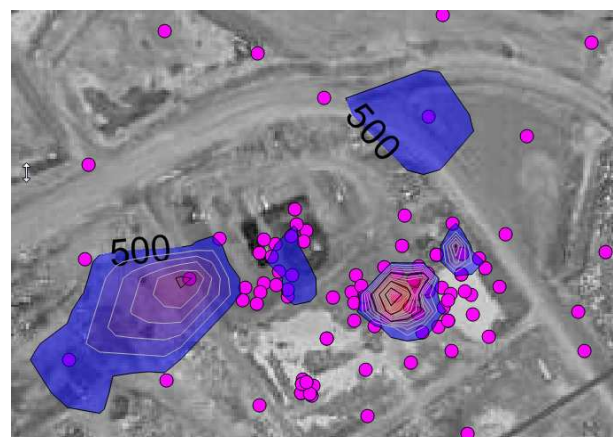


Concentrations en hydrocarbures totaux dans l'horizon 1 – 4 m

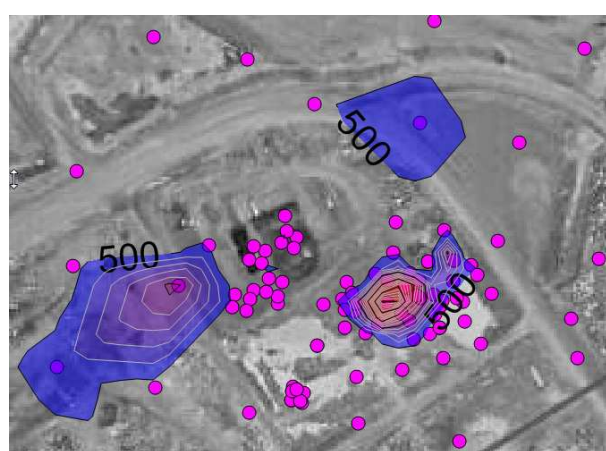
Ci-dessous, nous présentons la distribution des concentrations dans la zone ayant fait l'objet d'investigations approfondies, avec distinction des horizons 1 – 2 m, 2 – 3 m et 3 – 4 m.



Horizon 1 – 2 m



Horizon 2 – 3 m



Horizon 3 - 4 m

Les enveloppes bleues présentées correspondent à l'iso-concentration 500 mg/kg. Chaque ligne intérieure correspond à une différence de 1000 mg/kg. Chaque point magenta correspond à une analyse des hydrocarbures.

En résumé, nous constatons :

- une anomalie à l'ouest du parc à boue, sur F4, à 6300 mg/kg,
- une anomalie à la profondeur de 1 à 2 m au sud-ouest du parc à boues
- une anomalie significative au sud du parc à boues, sur SC8-SC10-SC11 qui atteint 38 000 mg/kg. Nous constatons qu'il s'agit de deux sources distinctes qui se confondent en profondeur.

Nature des hydrocarbures

Il apparaît de façon générale, que les concentrations en hydrocarbures sont essentiellement représentées par des composés ayant entre 21 et 35 atomes de carbone. Mais localement, quelques échantillons se distinguent par la nature des hydrocarbures présents. Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des anomalies en hydrocarbures.

	C10-C12 (%)	C12-C6 (%)	C16-C21 (%)	C21-C35 (%)	C35-C40 (%)
Cas général	1 - 2	5 - 11	15 - 22	55 – 65	10 - 16
B5-C4-SC40	0	0 - 2	3 - 11	70 – 82	17 - 19
G8	0	5	41	49	5
SC35	0	8	58	37	0

Le cas général correspond à un produit de type huile.

La zone B5-C4-SC40 (jusqu'à 8600 mg/kg) située dans l'ancien parc à ferrailles est concernée par une huile plus lourde que celle qui constitue le cas général, il s'agit peut être d'une huile hydraulique. Les PCB ont été recherchés sur SC40 en surface et en fond et n'ont pas été détectés.

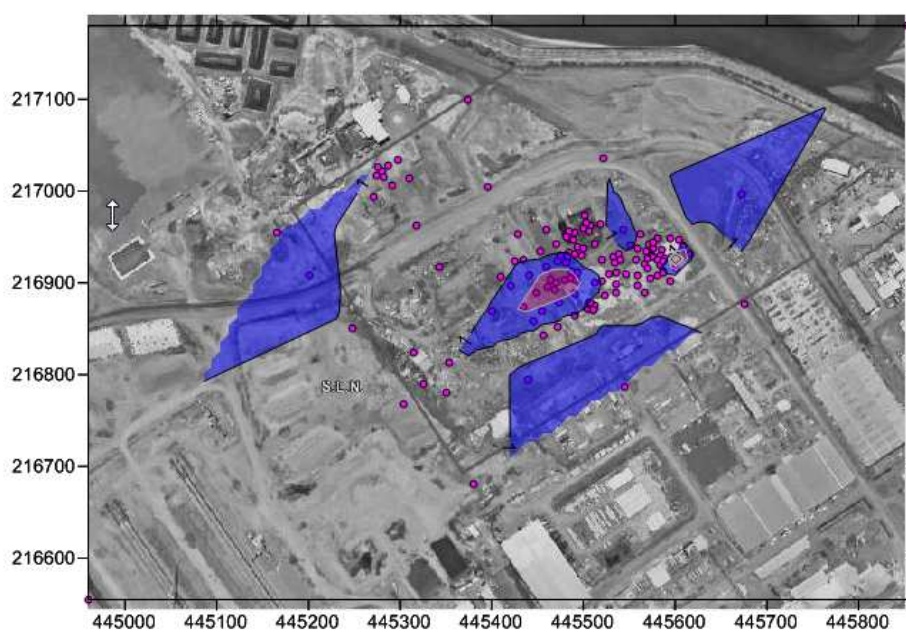
La zone G8 est concernée par un produit qui pourrait être de type fuel (1700 mg/kg) alors que la zone SC35 est concernée par du gasoil (1900 mg/kg).

4.3.4.6. - Concentrations en PCB

Horizons superficiels

Lors des deux premières campagnes de sondages, les PCB ont été mesurés sur l'horizon 0 – 1 m. Lors de la troisième phase d'investigations, ils ont été mesurés sur l'horizon 0 - 0,5 m et sur l'horizon 0,5 – 1m. Lors de la quatrième phase, ils ont été mesurés dans l'horizon 0 – 1 m. Les résultats des tranches 0 – 0,5 m et 0,5 – 1 m sont détaillés dans les zooms cartographiques.

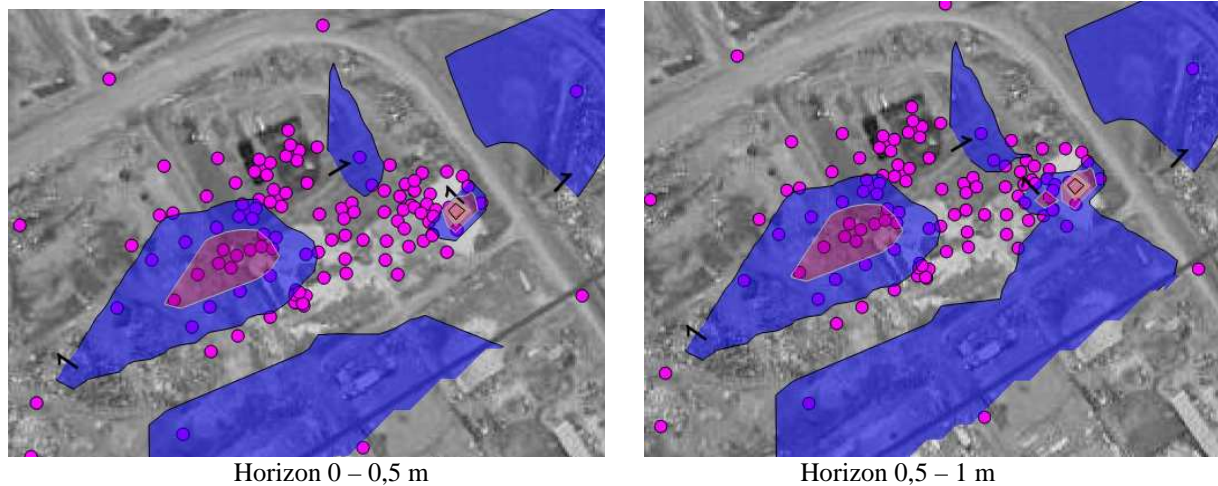
Les concentrations mesurées sont généralement faibles, mais elles peuvent localement être plus importantes. Les figures suivantes présentent les distributions des concentrations en PCB supérieures à 1 mg/kg.



Concentrations en PCB dans l'horizon 0 – 1 m

Nous constatons que du fait des faibles concentrations et du caractère très ponctuel des anomalies, l'interpolation mathématique ne donne pas une image satisfaisante de la distribution des concentrations. En effet, la zone marquée en rouge recouvre pour l'essentiel des points présentant des concentrations inférieures à 1 mg/kg. Cette présentation n'est donc à considérer que comme permettant de localiser les points spots.

Ci-dessous, nous présentons la distribution des concentrations dans la zone ayant fait l'objet d'investigations approfondies, avec distinction des horizons 0 – 0,5 m et 0,5 – 1 m.



Les enveloppes bleues présentées correspondent à l'iso-concentration calculée de 1 mg/kg. Chaque ligne intérieure correspond à une différence de 10 mg/kg. Chaque point magenta correspond à une analyse des PCB.

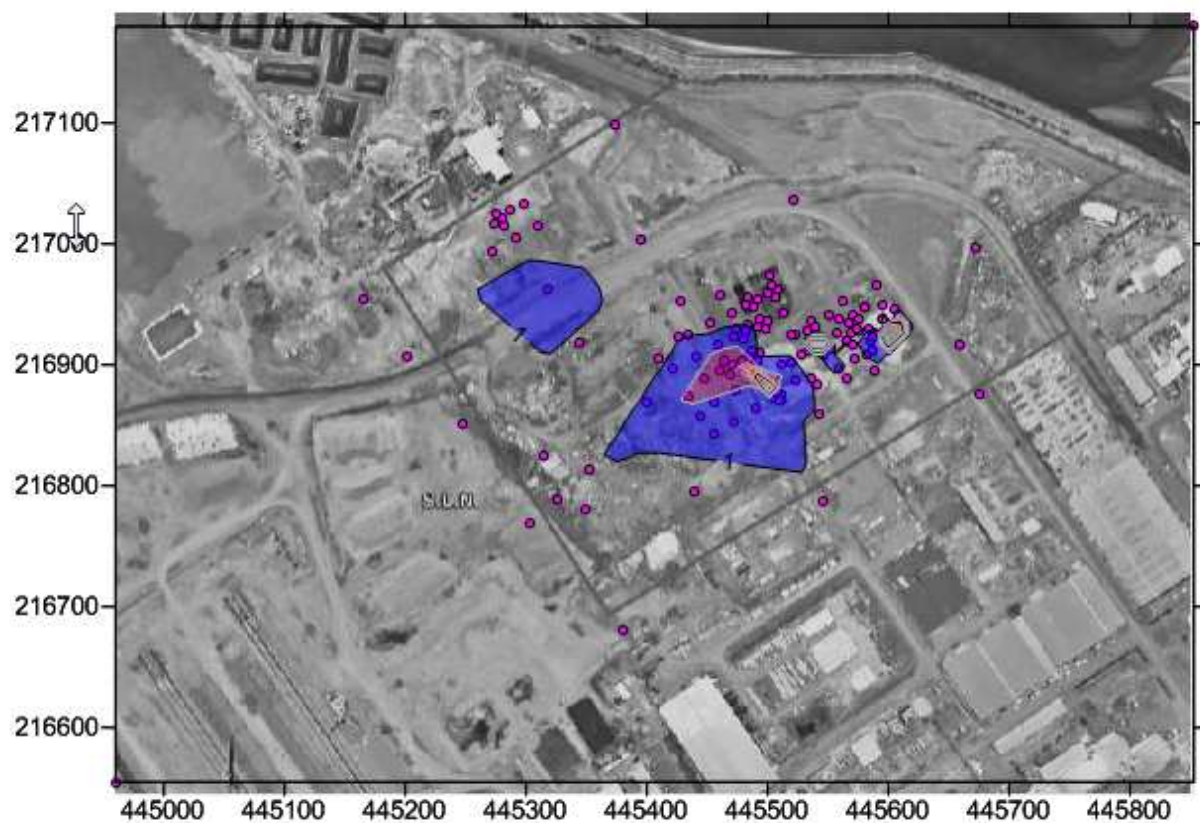
En résumé, nous constatons :

- la présence de PCB à moins de 5 mg/kg immédiatement au sud-est du parc à boues
- sur le zoom de la surface du sol, une anomalie ponctuelle sur I6A, à 100 mg/kg et une autre sur 311 à 75 mg/kg ; la troisième concentration la plus élevée est SC13 avec 14 mg/kg (il s'agit de trois échantillons moyens sur 0 – 1 m),
- Sur le zoom 0,5 – 1 m, outre ces trois échantillons, les échantillons 112 et 113 présentent respectivement 29 et 14 mg/kg, alors qu'en surface du sol leurs concentrations sont inférieures à 1 mg/kg.

Horizons profonds

Lors des premières campagnes de sondages, les PCB ont été mesurés sur l'horizon 1 – 4 m. Lors de la troisième phase d'investigations, ils ont été mesurés sur les horizons 1 – 2 m, 2 – 3 m et 3 – 4 m. Ces derniers résultats seront détaillés dans les zooms cartographiques.

Les concentrations mesurées sont généralement faibles, mais elles peuvent localement être plus importantes. Les figures suivantes présentent les distributions des concentrations en PCB supérieures à 1 mg/kg. Comme pour l'horizon superficiel, l'interpolation mathématique ne traduit pas la véritable dispersion des concentrations. La présentation ne sert qu'à localiser les anomalies.



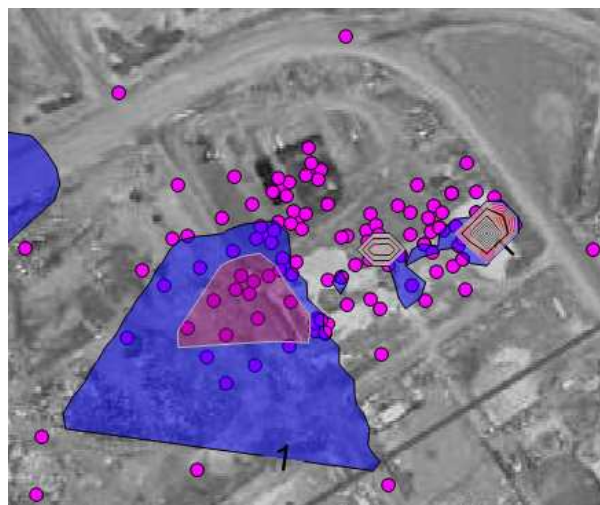
Concentrations en PCB dans l'horizon 1 – 4 m

Ci-dessous, nous présentons la distribution des concentrations dans la zone ayant fait l'objet d'investigations approfondies, avec distinction des horizons 1 – 2 m, 2 – 3 m et 3 – 4 m.

Les enveloppes bleues présentées correspondent à l'iso-concentration 1 mg/kg. Chaque ligne intérieure correspond à une différence de 10 mg/kg. Chaque point magenta correspond à une analyse en PCB.



Horizon 1 – 2 m



Horizon 2 – 3 m



Horizon 3 - 4 m

En résumé, nous constatons :

- Les zooms des horizons 1 – 2 m et 2 – 3 m sont très semblables. Les anomalies correspondent aux mesures sur 311 (470 mg/kg), H6C (300 mg/kg) et I6A (380 mg/kg). Sur l'horizon 1 - 2m, on trouve également des anomalies sur l'échantillon 391 qui présente 120 mg/kg, l'échantillon 347 qui présente 72 mg/kg et les échantillons 379, 385 et 386 qui présentent entre 21 et 23 mg/kg, alors qu'en surface du sol leurs concentrations sont inférieures à 1 mg/kg
- Sur l'horizon 2 – 3 m, on constate une anomalie sur 113 pour l'horizon 2 – 3 m (19 mg/kg),
- Sur le zoom 3 – 4 m, les anomalies correspondent aux trois échantillons 311, H6C et I6A (il s'agit d'échantillons de l'horizon 1 – 4 m).

Nous en déduisons qu'il s'agit essentiellement de deux anomalies ponctuelles (H₆C et I6A) et d'une anomalie un peu plus étendue (311). La distance entre deux sondages est de l'ordre de 5 mètres autour de ces anomalies.

Caractéristiques des PCB

Les concentrations en PCB mesurées correspondent à la somme des 7 PCB indicateurs qui sont les PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 et PCB180. Selon l'INERIS, la somme des 7 PCB correspond à 80% de la concentration totale en PCB.

Il convient dans un premier temps de signaler que dans le cas de ce site, les PCB ne sont pas associés aux pollutions en hydrocarbures, même si ces deux ensembles d'anomalies sont voisins. Le tableau suivant présente pour les 4 échantillons les plus pollués qui présentent une concentration supérieure à 100 mg/kg pour la somme des 7 PCB, les concentrations en hydrocarbures associées. Les hydrocarbures n'ont pas été recherchés sur les échantillons 311 et I6A.

Sondage	Profondeur	PCB(7) (mg/kg)	HCT (mg/kg)	PCB/HCT
H6C	1 – 4 m	300	360	0.83
I6A	0 – 1 m	100	Non recherché	-
I6A	1 – 4 m	380	390	0.97
311	1 – 4 m	470	Non recherché	
391	1 – 2 m	120	890	0.134

Concentrations en hydrocarbures associées aux concentrations élevées en PCB

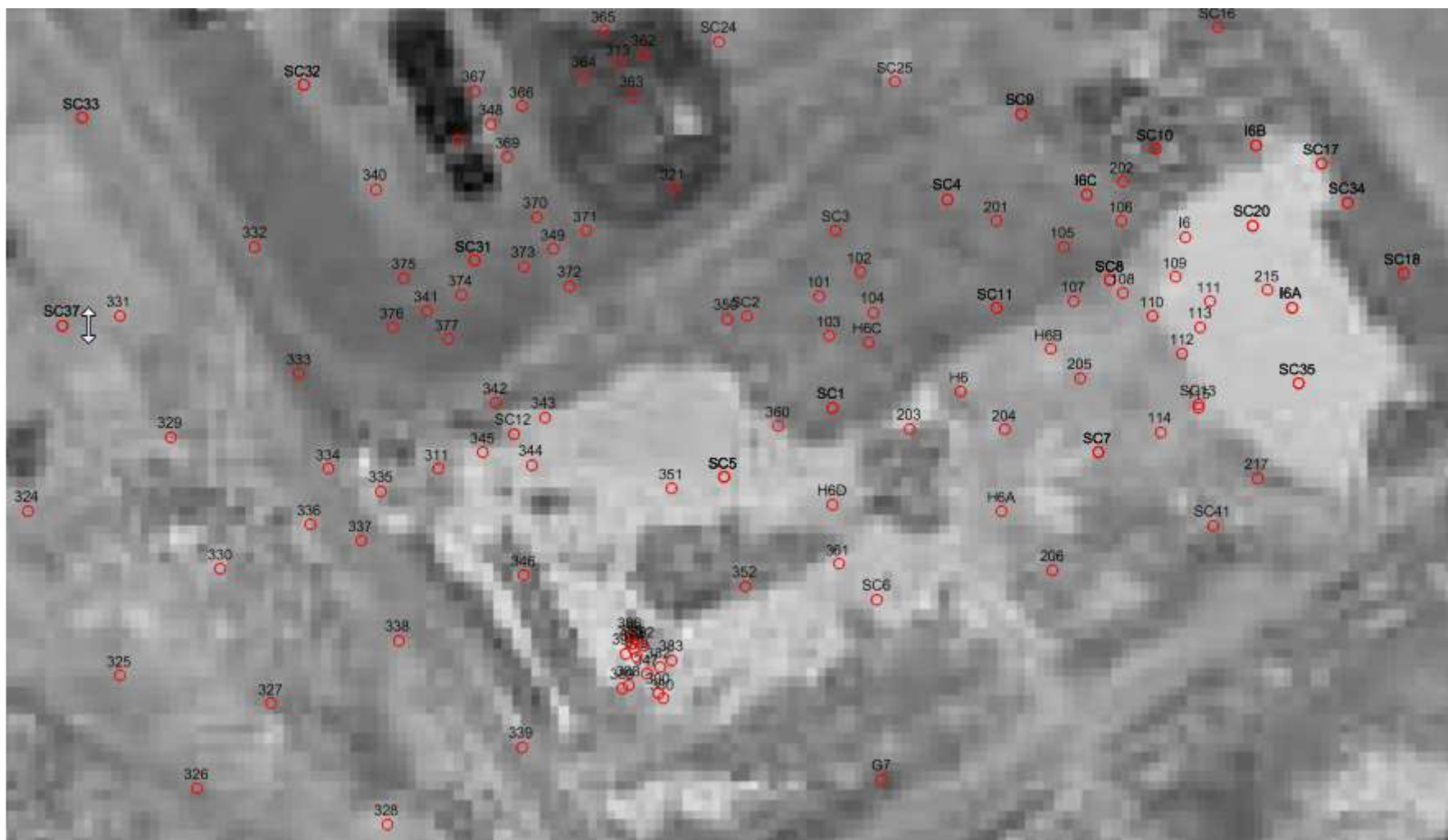
On constate que les rapports entre les concentrations en PCB et en hydrocarbures sont compris entre 66 et 100% sur H6C et I6A, et de 13% sur 391. Sur H6C et I6A, ces anomalies sont donc liées à des produits que l'on pourrait qualifier de « purs », et non pas à des huiles contenant des PCB. Sur 391, il pourrait s'agir d'un mélange d'huile et de PCB.

Origine vraisemblable des PCB

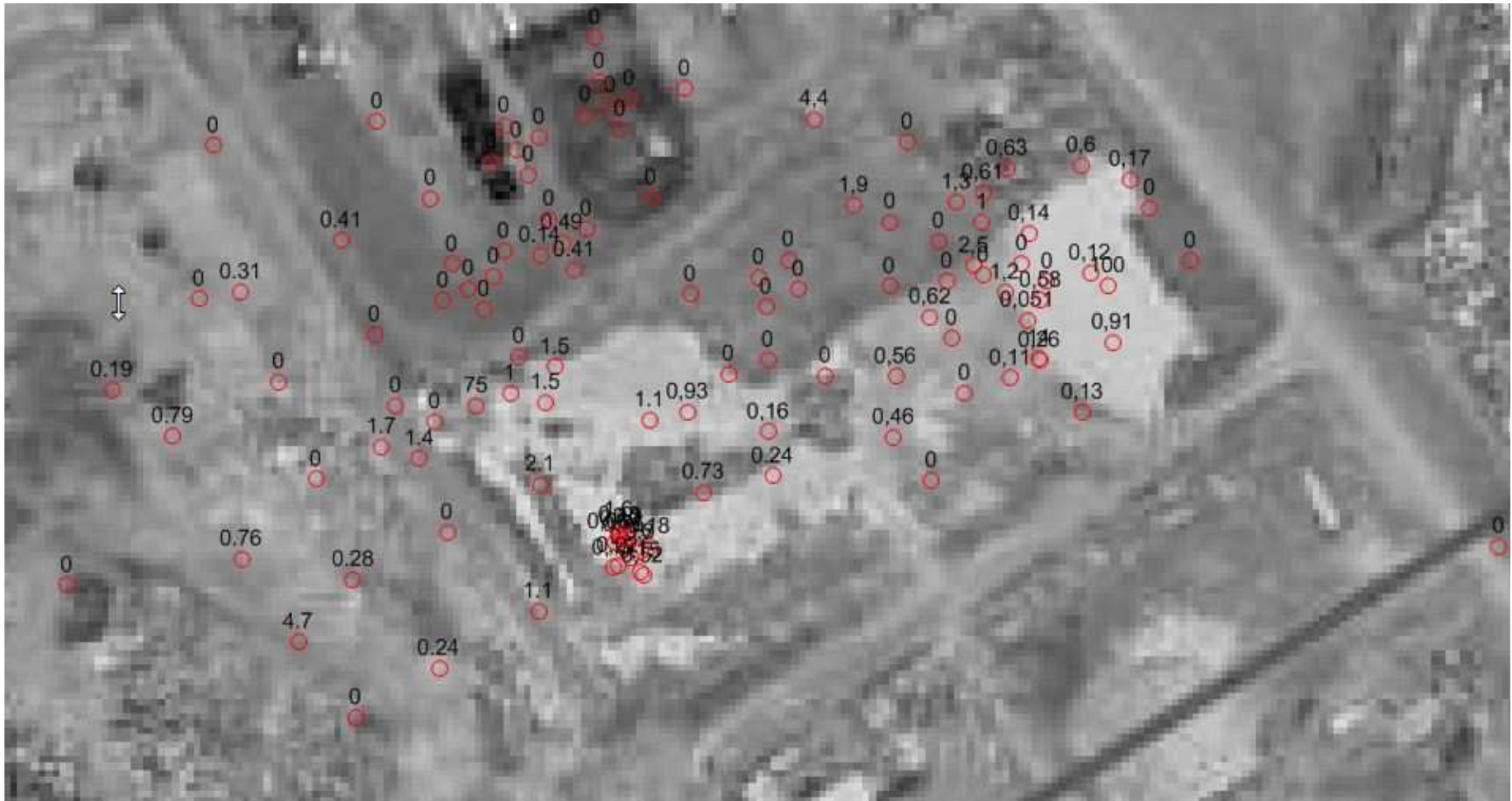
Les anomalies en PCB se situent dans la zone de stockage de transformateurs et de dépotage, qui est située en limite sud de la partie centrale du site. Les niveaux de concentration sont inférieurs à 1‰. Le produit qui est en principe visqueux à résineux, ne devrait donc pas être mobile dans les sols. Du fait de sa viscosité, il ne devrait pas s'agir d'écoulements, car le produit aurait formé une masse facilement identifiable de visu.

L'étude documentaire révèle que, dans la zone impactée, des transformateurs au PCB ont été stockés pour être vidangés avec transvasement des fluides dans des fûts. Les résultats des mesures sont cohérents avec cette activité car la pollution apparaît en points spots discontinus.

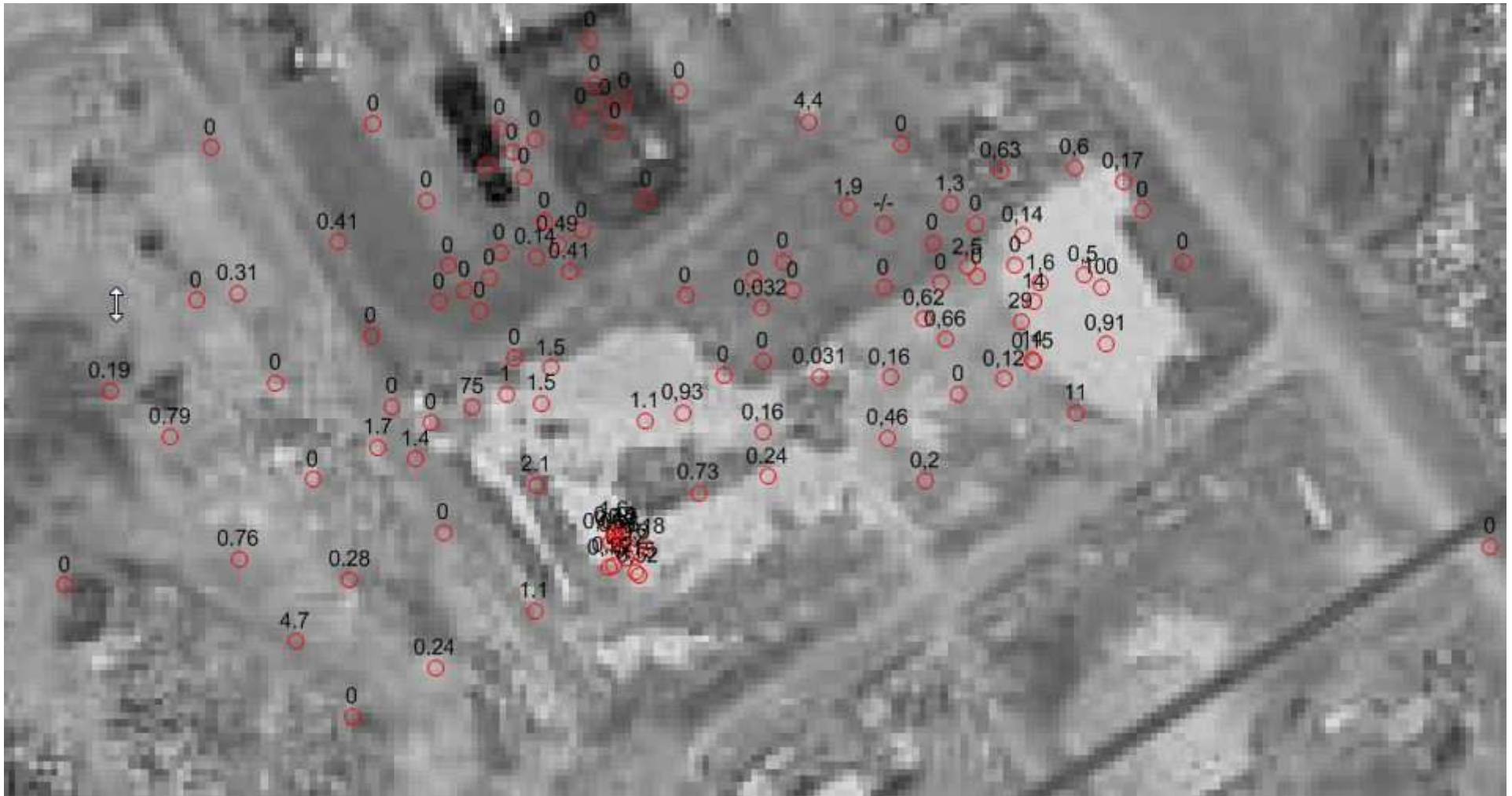
Les PCB ne sont retrouvés que très localement, en surface comme en profondeur. Les cartes interpolées ne permettent pas de constater la distribution réelle des concentrations. C'est pourquoi elles sont reprises ci-dessous, couche par couche avec les résultats des analyses. Les échantillons moyens prélevés sur l'horizon 0 – 1 m sont présentés dans les couches 0 – 0,5 et 0,5 – 1 m. Les échantillons moyens prélevés sur l'horizon 1 – 4 m sont présentés dans les couches 1 – 2, 2 – 3 et 3 – 4 m.



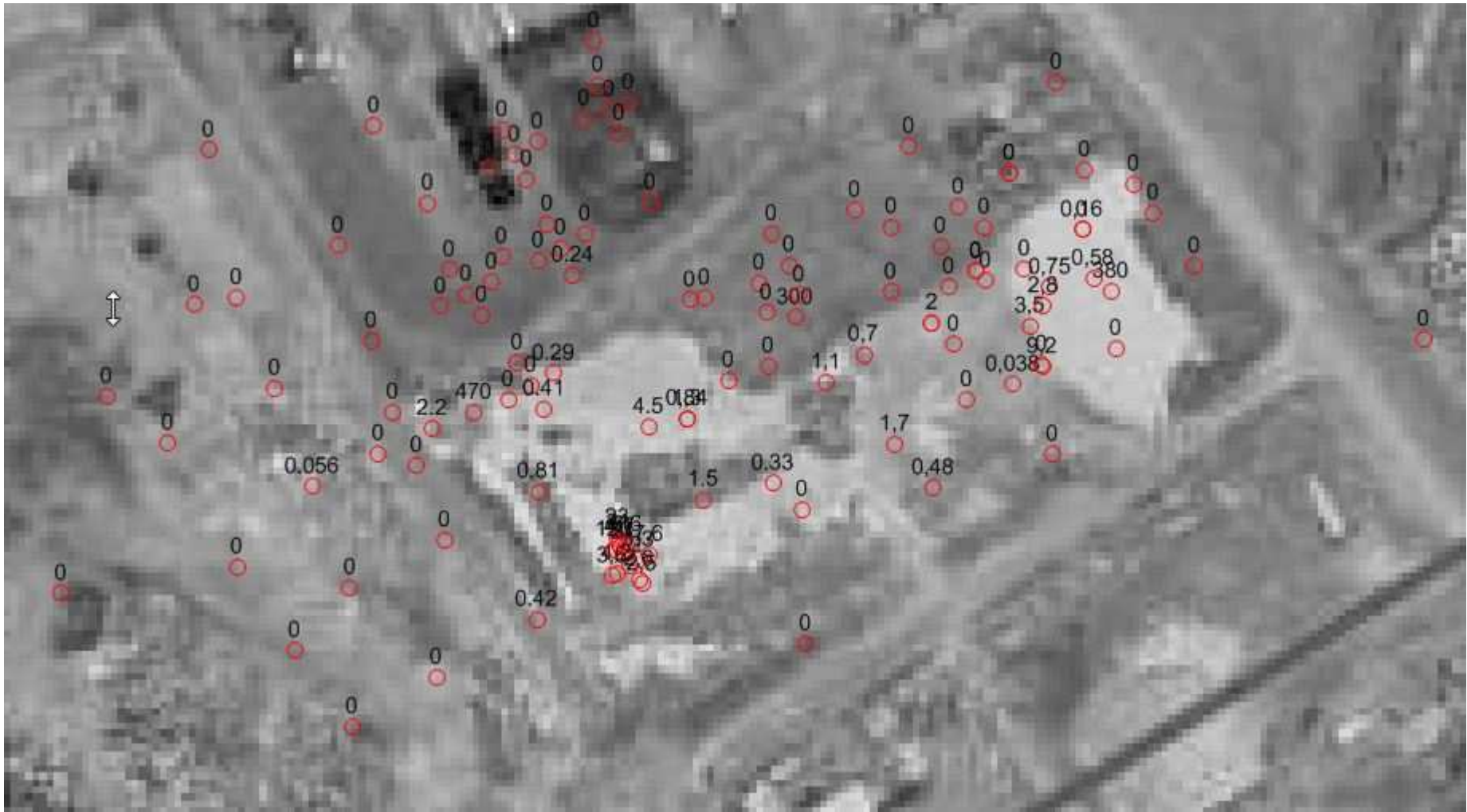
Détail dans la zone impactée de la distribution des concentrations en PCB : identification des sondages



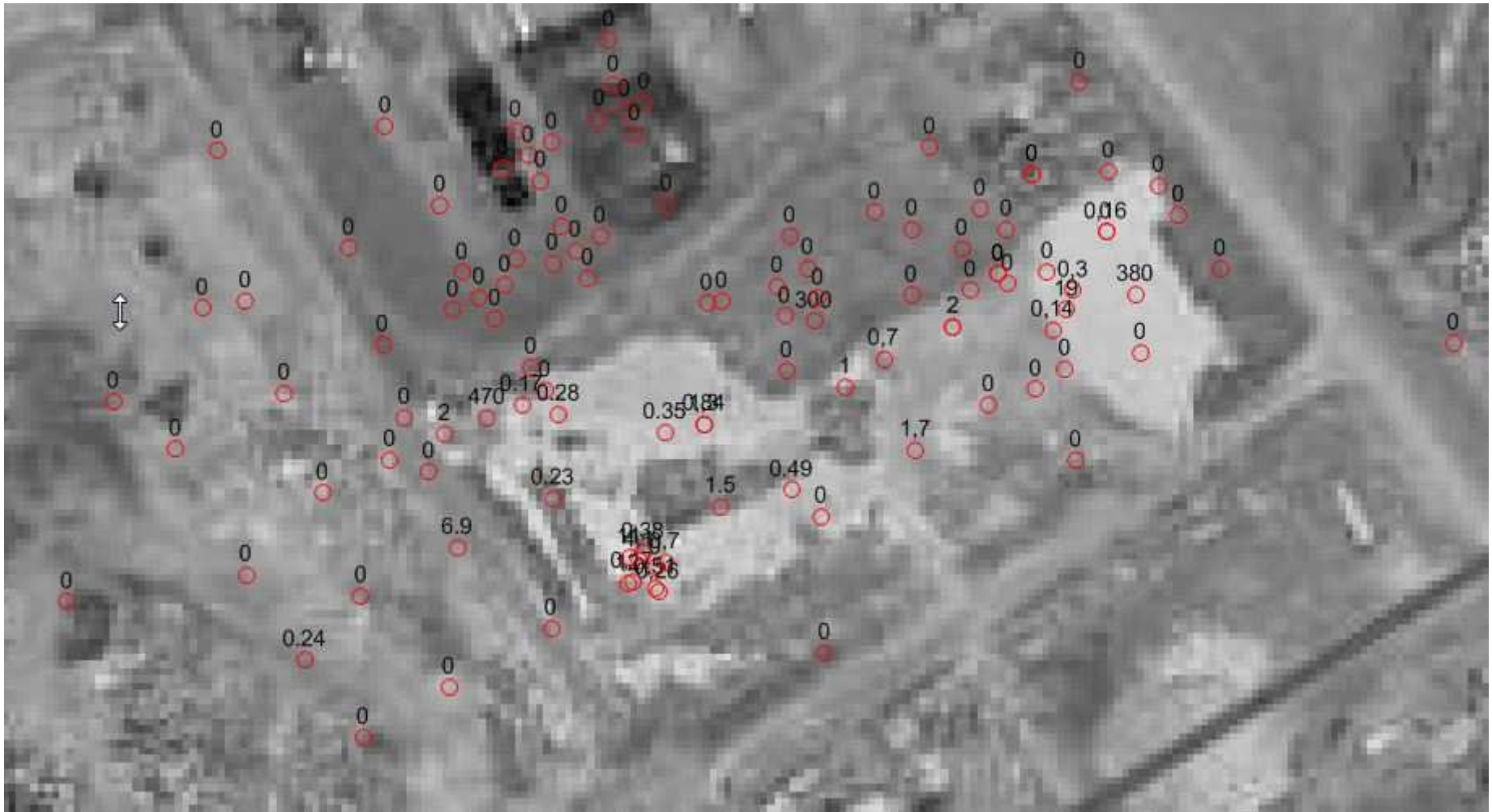
Détail dans la zone impactée de la distribution des concentrations en PCB(7) en mg/kg dans l'horizon 0 – 0,5 m



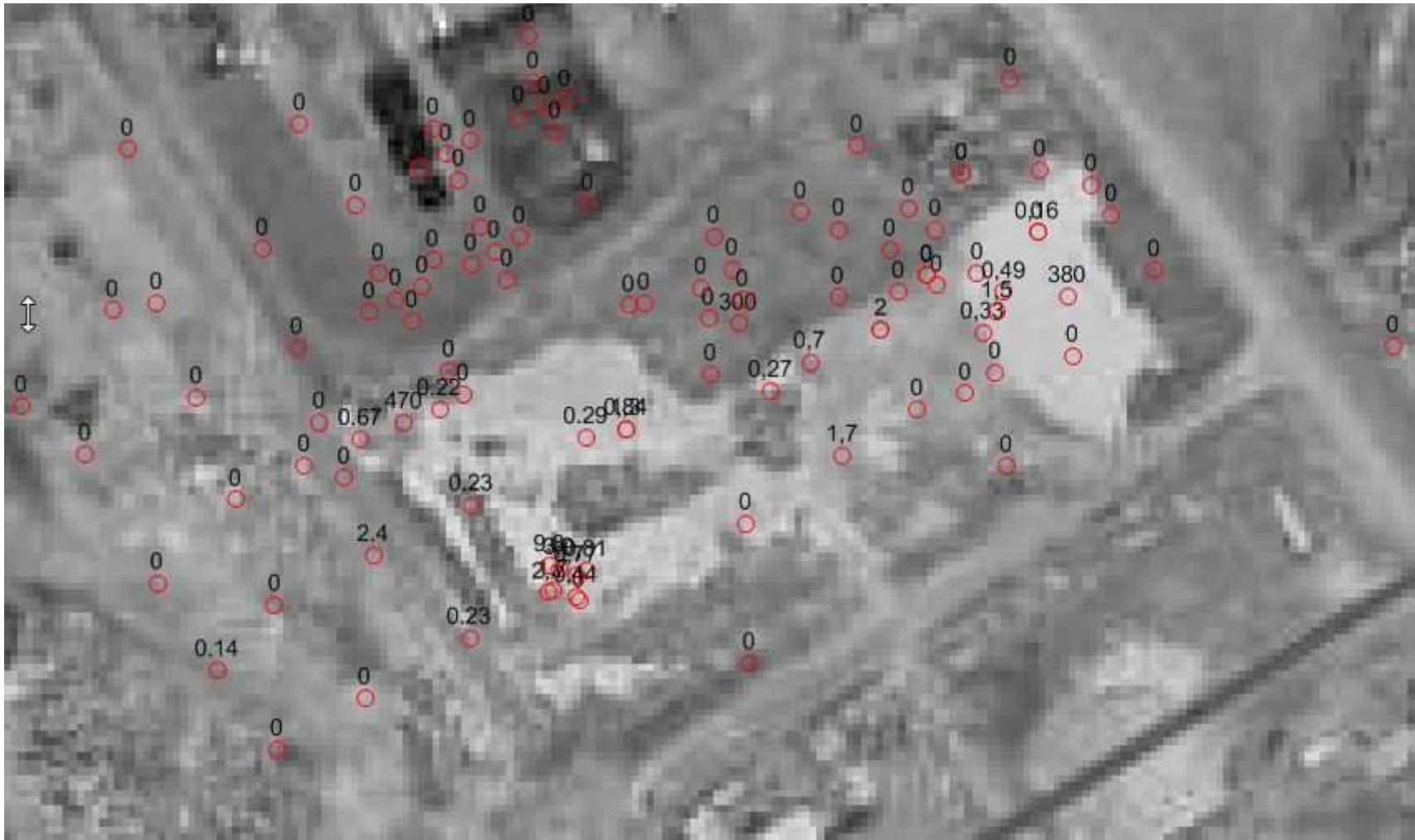
Détail dans la zone impactée de la distribution des concentrations en PCB(7) en mg/kg dans l'horizon 0.5 - 1 m



Détail dans la zone impactée de la distribution des concentrations en PCB(7) en mg/kg dans l'horizon 1 - 2 m



Détail dans la zone impactée de la distribution des concentrations en PCB(7) en mg/kg dans l'horizon 2 - 3 m



Détail dans la zone impactée de la distribution des concentrations en PCB(7) en mg/kg dans l'horizon 3 - 4 m

Sources H6C et I6A

Parmi les 4 sondages (101, 102, 103, 104) réalisés autour de H6C qui présentait 300 mg/kg en profondeur, seul le sondage 103 a montré de faibles traces de PCB (0,03 mg/kg) entre 0,5 et 1m, et il en est exempt sur les autres horizons.

Parmi les 4 sondages réalisés (105, 106, 107, 108) autour de SC8 qui présentait 2,5 mg/kg entre 0 et 1 m, seul 106 a indiqué une faible présence de PCB à 1 mg/kg entre 0 et 0,5 m. Cette recherche a été réalisée sur SC8 bien que la concentration en PCB y est faible, car ce sondage se situe entre H6C et I6A qui sont tous deux significativement impactés. Les sondages 105 à 108 avaient également pour objectif de déterminer s'il y a une possible continuité entre H6C et I6A. Cette hypothèse a été infirmée par les résultats des analyses.

Parmi les 4 sondages (109, 110, 111, 113) encadrant I6A qui présentait 100 mg/kg en surface et 380 mg/kg en profondeur, on trouve des traces de PCB (moins de 2 mg/kg) sur 110 et 111, et des concentrations plus élevées, entre 14 et 19 mg/kg entre 0,5 et 3 m sur 113. 109 est exempt de PCB.

Parmi les 4 sondages (112, 113, 114, 115) encadrant SC13 qui présentait 14 mg/kg en surface, des traces de PCB (inférieures à 0,12 mg/kg) ont été mesurées sur le sondage 114, 29 mg/kg ont été mesurés sur 112 entre 0,5 et 1 m alors que la concentration est 10 fois moindre entre 1 et 2m, et 9 mg/kg ont été mesurés sur 115 entre 1 et 2m.

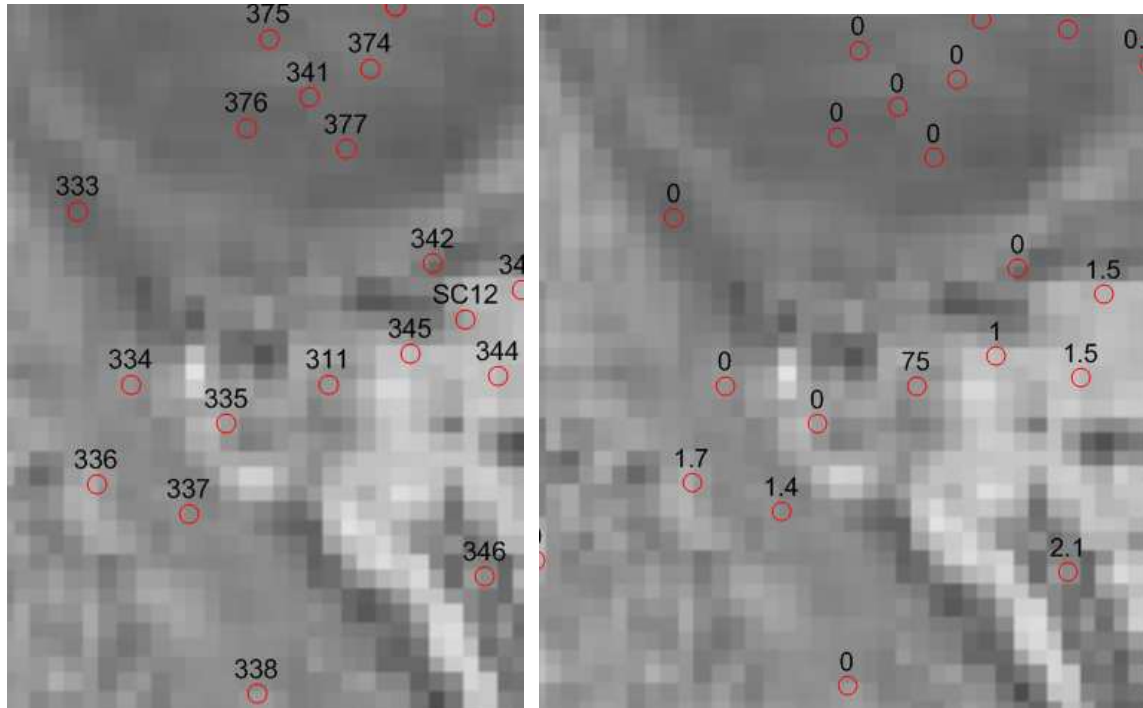
Le tableau suivant récapitule les résultats des analyses en PCB de la série 100.

Sondage	Concentrations en PCB (mg/kg)				
	0 - 0,5 m	0,5 - 1m	1 - 2 m	2 - 3 m	3 - 4 m
101	0	0	0	0	0
102	0	0	0	0	0
103	0	0.032	0	0	0
104	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0
106	1	0	0	0	0
107	0	0	0	0	0
108	0	0	0	0	0
109	0	0	0	0	0
110	1.2	-	-	-	-
111	0	1.6	0.75	0.3	0.49
112	0.051	29	3.5	0.14	0.33
113	0.58	14	2.8	19	1.5
114	0.11	0.12	0.038	0	0
115	0.26	0.15	9.2	-	-

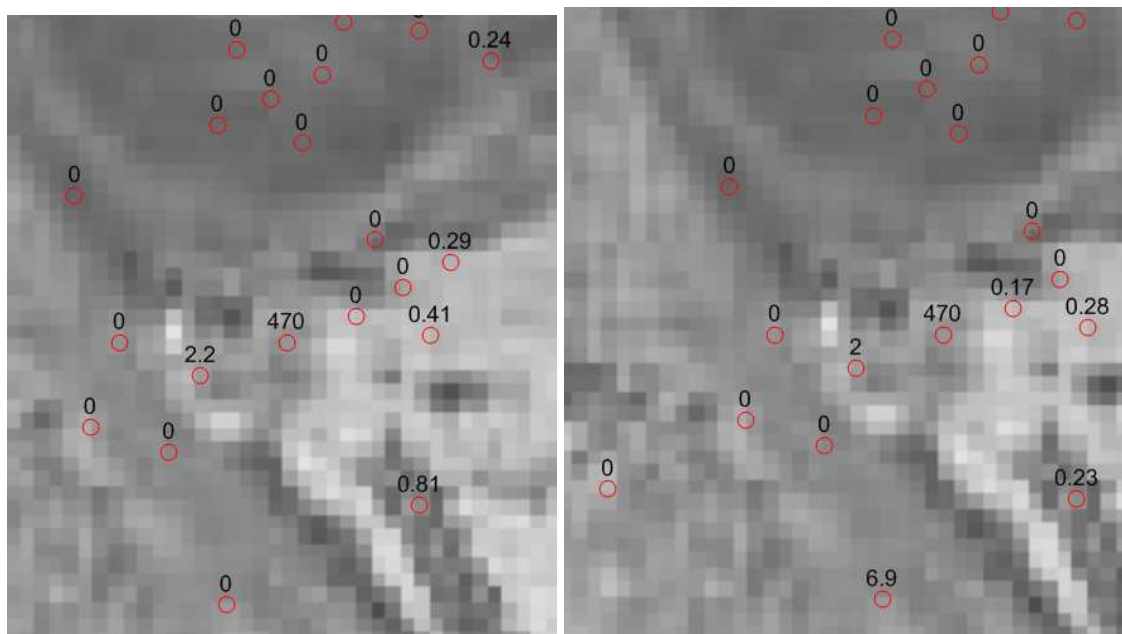
Ces résultats permettent de conclure qu'il n'y a pas de continuité entre les sources H6C et I6A. Il s'agit donc bien de deux sources ponctuelles. H6C est très localisé. I6A est un peu plus diffus, mais sans concentrations supérieures à 50 mg/kg autour du point spot.

Source 311

Les figures suivantes présentent les distributions en PCB(7) autour de la source 311 (75 mg/kg entre 0 et 1 m et 470 mg/kg entre 1 et 4 m).

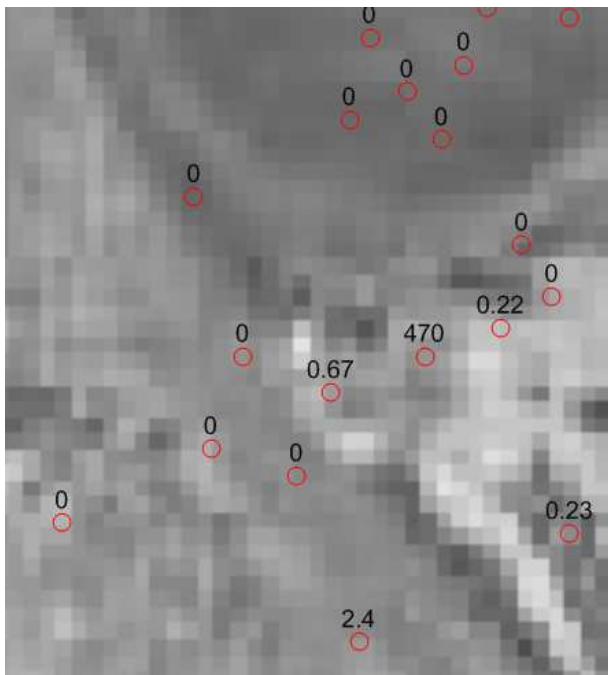


Distribution des concentrations de PCB(7) en mg/kg autour de 311 - Horizon 0 – 1 m



Source 311 - Horizon 1 - 2 m

Source 311 - Horizon 2 - 3 m

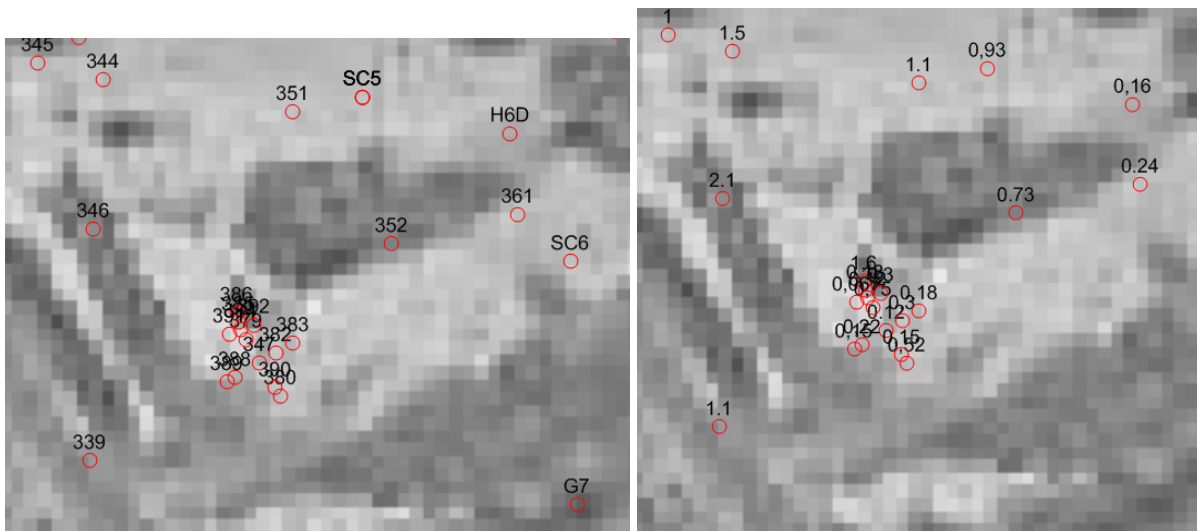


Source 311 - Horizon 3 - 4 m

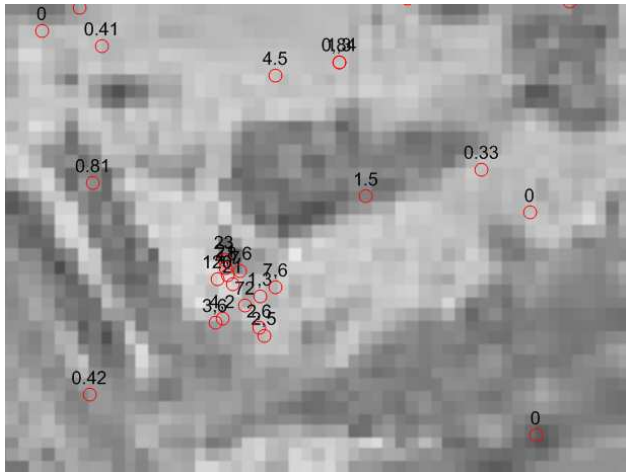
On constate que la source est ponctuelle et que les sondages voisins n'ont pas identifié de concentrations significatives en rapport avec celle de 311.

Source 347 - 391

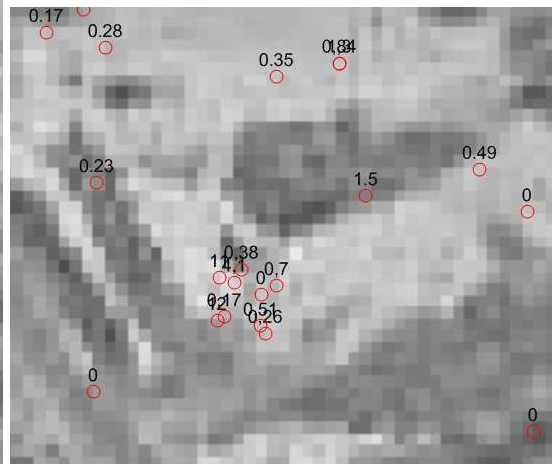
Les figures suivantes présentent les distributions en PCB(7) autour de la source 347 (72 mg/kg entre 1 et 2 m) et de la source 391 (120 mg/kg entre 1 et 2 m). Le sondage 347 est situé à 40 m au sud-ouest de 311.



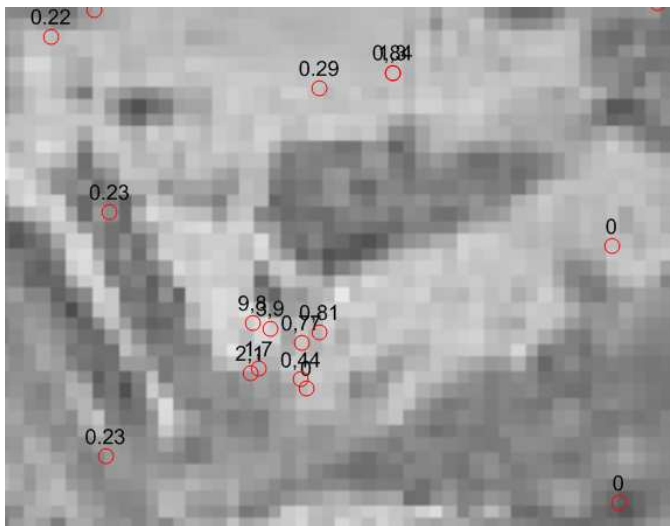
Distribution des concentrations de PCB(7) en mg/kg autour de 347-391 - Horizon 0 – 1 m



Source 347-391 - Horizon 1 - 2 m



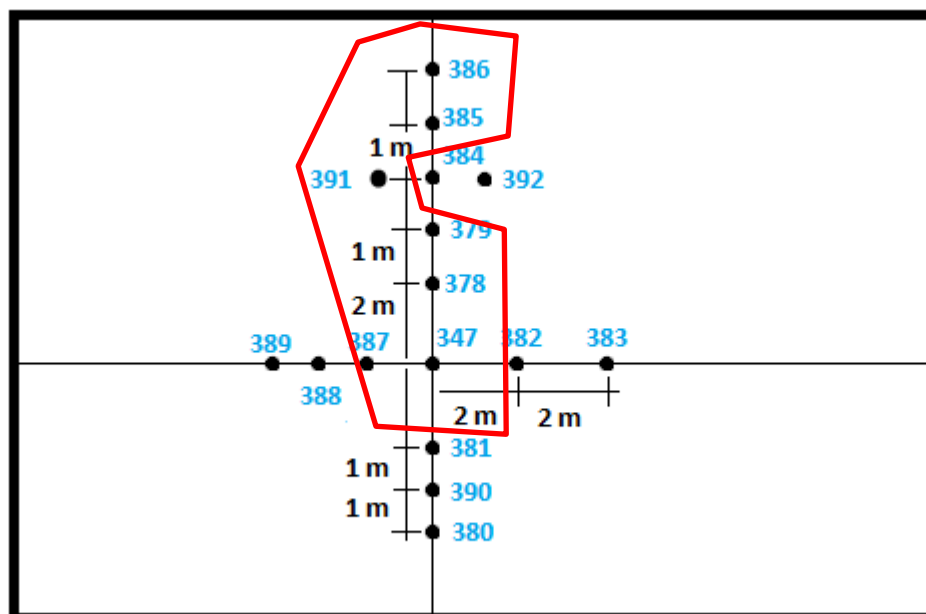
Source 347-391 - Horizon 2 - 3 m



Source 347-391 - Horizon 3 - 4 m

Nous constatons que cette zone diffère des autres anomalies dans le sens où l'anomalie n'est pas ponctuelle.

Du fait de la mauvaise lisibilité des figures liées à la faible distance entre les points de sondage (de l'ordre de 2 m), nous reprenons ci-dessous le schéma des sondages autour de 347.



Distribution des sondages autour de 347.

Le tableau suivant reprend les résultats des analyses en PCB(7) de ces points.

Sondage	Horizon 0 - 1 m PCB(7) mg/kg	Horizon 1 - 2 m PCB(7) mg/kg	Horizon 2 - 3 m PCB(7) mg/kg	Horizon 3 - 4 m PCB(7) mg/kg
347	0.12	72	Refus	
379	0.75	21	4.1	3.9
380	0.52	2.5	0.26	0
382	0.3	1.3	0	0.77
383	0.18	7.6	0.7	0.81
384	0.12	4.7	Refus	
385	0.18	21	Refus	
386	1.6	23	Refus	
388	0.22	4.2	0.17	1.7
389	0.15	3.6	12	2.1
390	0.15	2.6	0.51	0.44
391	0.067	120	11	9.8
392	0.3	8.6	0.38	Refus

Concentrations en PCB(7) en mg/kg dans la zone 347 - 391

Les concentrations supérieures à 20 mg/kg sont présentées en rouge. On constate que 5 sondages sont concernés, et que les anomalies se situent entre 1 et 2 m de profondeur. La figure précédente présente l'enveloppe de la zone, sachant qu'il n'y a pas d'analyse disponible pour les sondages 379, 381 et 387. Cette enveloppe représente une superficie d'environ 50 m², mais les sondages les plus proches situés hors de cette zone sont à une distance de 20 m environ. Cette source est donc potentiellement importante.

Migration des PCB sur la verticale

Le tableau suivant reprend l'ensemble des analyses réalisées sur tous les sondages ayant présenté au moins une concentration supérieure à 10 mg/kg de PCB(7).

Sondage	Horizon 0 – 0,5 m PCB(7) mg/kg	Horizon 0 - 1 m PCB(7) mg/kg	Horizon 1 - 2 m PCB(7) mg/kg	Horizon 2 - 3 m PCB(7) mg/kg	Horizon 3 - 4 m PCB(7) mg/kg
SC13	14		0		
311	75		470		
I6A	100		380		
217	0.13	11	Refus à 1m		
113	0.58	14	2.8	19	1.5
112	0.051	29	3.5	0.14	0.33
379	0.75		21	4.1	3.9
385	0.18		21	Refus à 2m	
386	1.6		23	Refus à 2m	
347	0.12		72	Refus à 2m	
391	0.067		120	11	9.8
389	0.15		3.6	12	2.1
H6C	-		300		

Sondages présentant une anomalie supérieure à 10 mg/kg en PCB(7)

En rouge : la concentration la plus élevée de chaque sondage

Ce tableau nous indique que 13 sondages présentent des anomalies en PCB(7) supérieures à 10 mg/kg. Parmi eux, 9 sondages présentent une concentration supérieure à 20 mg/kg.

Nous constatons que sur les sondages qui ont été échantillonnés par tranche de 1 m ou moins, les concentrations sont généralement rencontrées dans les horizons profonds de moins de 2 m. Les seules exceptions concernent les sondages 113, 389 et 391 qui ont rencontré des concentrations comprises entre 10 et 20 mg/kg dans l'échantillon prélevé entre 2 et 3 m.

Aucune concentration supérieure à 10 mg/kg n'a été rencontrée dans l'horizon 3 – 4 m, lorsque celui-ci a été échantillonné de façon spécifique. En effet, les sondages réalisés à la pelle peuvent indiquer des concentrations importantes dans l'horizon profond, mais l'échantillonnage a été réalisé entre 1 et 4 m. L'anomalie ne se situe donc pas nécessairement au fond du sondage.

La comparaison des résultats des analyses sur les verticales (pour les sondages réalisés à la tarière avec échantillonnage systématique) n'indique pas de migration caractérisée des PCB sur la verticale, car les concentrations peuvent être divisées par plus de 10 d'un horizon à l'horizon sous-jacent (1 m plus bas).

Par ailleurs, des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés lors de la réalisation des sondages 379 et 380. Ils ont fait l'objet d'une recherche des PCB. Les analyses indiquent une concentration de 0,011 µg/l sur 379, et l'absence de PCB sur 380. Les résultats mesurés sur le sondage 379 pourraient être liés aux concentrations présentes dans les sols traversés par le forage (21 mg/kg entre 1 et 2 m). Les résultats relevés sur le sondage 380 situé à 4 m d'un sondage pollué indiquent que les PCB n'ont pas rejoint les eaux souterraines et qu'ils ne sont donc pas mobile sur la verticale.

De ces résultats, on déduit qu'il n'y a pas de migration des PCB sur la verticale, et que les anomalies sont essentiellement rencontrées à une profondeur de moins de 2 m. Ceci devra toutefois être confirmé au droit des sondages 311, H6C et I6A.

Conclusions sur les anomalies aux PCB

On peut en déduire qu'on est en présence de trois anomalies localisées en PCB (H6C, I6A et 311) et d'une anomalie plus étendue (347-391) qui présentent des niveaux de concentration supérieurs à 20 mg/kg tout en restant inférieur à 500 mg/kg.

4.3.4.7. - Concentrations en COHV

Les COHV (composés organiques halogénés volatils) ont été recherchés sur certains échantillons de sols lors des différentes campagnes de prélèvement. Cette famille comprend les solvants chlorés (trichloréthylène et tétrachloréthylène ainsi que leurs produits de dégradation) qui auraient pu être utilisés sur le site.

Les échantillons analysés sont les échantillons de fond des sondages SC8, SC11, SC20 et SC35 ainsi que les échantillons prélevés dans les horizons 1-2 m et 2-3 m des sondages 323, 325, 353, 354, 355, 357, 358 et 359, ce qui représente un total de 20 analyses des COHV.

La figure suivante présente la localisation des sondages sur lesquels les COHV ont été recherchés.



Localisation des sondages ayant fait l'objet d'une recherche des COHV

Parmi les COHV, seul le trichloréthylène a été détecté à 0,11 mg/kg sur le sondage SC8 et à 0,13 mg/kg sur 358 sur l'horizon compris entre 1 et 2 m. Il n'est pas détecté dans l'horizon sous-jacent.

On en déduit qu'il n'y a pas d'anomalie avérée en composés organiques halogénés volatils.

4.4. - RESULTATS DES INVESTIGATIONS : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

4.4.1. - Résultats des investigations successives

La stratégie des investigations successives a été détaillée dans le paragraphe 4.1. L'ensemble des résultats des investigations sur les eaux souterraines est regroupé dans ce paragraphe et interprété de façon globale

Pour rappel, les investigations successives réalisées sont les suivantes :

- du 28 au 30 octobre 2013, réalisation de 6 piézomètres provisoires de 6 à 10 m,
- le 14 novembre 2013, prélèvement manuel au bailer, sans purge préalable, d'un échantillon d'eau sur chaque piézomètre,
- le 13 mai 2014, prélèvement manuel au bailer, sans purge préalable, d'un échantillon sur les 5 piézomètres toujours accessibles, PZ5 ayant été détruit lors de la création d'une nouvelle route,
- du 24 juillet au 05 août 2014, pose de 5 nouveaux piézomètres provisoires PZ7 à PZ11 profonds de 10 m, sauf PZ7 qui n'est profond que de 5 m ; un échantillon d'eau a malgré cela été prélevé sur PZ7 à la fin des travaux de forage du puits,
- les 07 et 08 août 2014, prélèvement manuel au bailer et sans purge préalable d'échantillons d'eau sur les piézomètres PZ1, PZ2, PZ3, PZ4, PZ6, PZ8, PZ9, Pz10 et PZ11,
- le 30 septembre 2014, campagne de prélèvement manuel au bailer, sans purge préalable sur 9 piézomètres (PZ5 détruit et PZ7 sec n'ont pas été prélevés)
- du 23 septembre au 05 octobre 2015, pose de 6 piézomètres définitifs destinés à la surveillance des effets sur l'eau souterraine de la future centrale,
- les 08 et 09 octobre 2015, campagne de prélèvements sur 8 piézomètres définitifs avec mesure de la conductivité et recherche de métaux, hydrocarbures totaux, HAP(16), COV (liste EPA, 59 composés) et PCB(7).

La cote du sol a été relevée au droit des piézomètres PZ7 à PZ11 par A2EP. Le capot des piézomètres provisoires a été nivelé par un géomètre en mars 2015. Les piézomètres définitifs ont été nivelés en octobre novembre 2015 par A2EP.

4.4.2. - Coupes et équipements des piézomètres

Piézomètres provisoires

La localisation des piézomètres provisoires est présentée en figure suivante. Leur position par rapport à la plateforme industrielle est reprise par la figure hors texte 3a.



Localisation des piézomètres provisoires PZ1 à PZ11

Mis à part PZ8 et PZ9 qui n'ont rencontré que des scories sur 10 m, les piézomètres recoupent entièrement les remblais de scories (épaisseurs de 4,5 à 7,5 m) avant de pénétrer de quelques mètres les formations argilo-vaseuses littorales sous-jacentes, ou les argiles plastiques pour PZ10. Ils ont été équipés de tubes crépinés sur les 4 derniers mètres pour les PZ1 à PZ7, sur 6 m pour les piézomètres PZ8, PZ10 et PZ11 et sur 8 m pour PZ9.

La localisation de ces ouvrages est présentée en figure hors texte n°5. Leurs coupes sont présentées en annexe 2. La lithologie est synthétisée dans le tableau suivant.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6	PZ7	PZ8	PZ9	PZ10	PZ11
Scories	0 – 6.5	0 – 7.3	0 – 5.4	0 – 6.5	0 – 6.1	0 – 6.1	0 – 5.1	0 – 10.0	0 – 10.0	0 – 7.9	0 – 7.1
Graves et sables			5.4 – 7.2								
Argile vaseuse	6.5 – 8.5	7.3 – 1.6	7.2 – 10.7	6.5 – 10.3	6.1 – 10.6	6.1 – 10.7					7.1 – 10.
Argile plastique										7.1 – 10.0	

Lithologie relevée sur les piézomètres provisoires du site

Piezomètres définitifs

Les piézomètres définitifs ont été appelés P20 à P25. Ils sont disposés autour du périmètre de la centrale C, de façon à pouvoir être préservés durant la phase de chantier, ces ouvrages étant appelés à être utilisés pendant l'exploitation de la centrale C.

La localisation de ces ouvrages est présentée en figure suivante. Leur position par rapport à la plateforme industrielle est reprise par la figure hors texte 3b. Leurs coupes sont présentées en annexe 2. La lithologie est synthétisée dans le tableau suivant.



Localisation des piézomètres définitifs P20 à P25

Mis à part P23 qui n'a rencontré que des scories sur 10,5 m, les piézomètres recoupent entièrement les remblais de scories (épaisseurs de 7 à 10 m) avant de pénétrer les formations argilo-vaseuses littorales sous-jacentes, ou les argiles plastiques pour P20.

Il s'agit d'ouvrages de diamètre interne 112 mm. Ils ont été équipés de tubes crépinés à partir de la profondeur de 2,5 m par rapport au sol, jusqu'en fond d'ouvrage. Cet équipement permet d'intercepter aussi bien les éventuelles phases légères que les phases lourdes susceptibles de migrer en fond de l'horizon aquifère.

	P20	P21	P22	P23	P24	P25
Scories	0 – 7,5	0 – 7,5	0 – 7,0	0 – 10,5	0 – 9,9	0 – 9,8
Argile vaseuse		7,5 – 10,5	7,0 – 10,5		9,9 – 10,5	9,8 – 10,5
Argile plastique	7,5 – 10,5					

Lithologie relevée sur les piézomètres définitifs du site

4.4.3. - Mesures de terrain et résultats des analyses

Les bordereaux d'analyses d'eau sont présentés en annexe 4.

4.4.3.1. - Campagne de novembre 2013

Les mesures effectuées in situ au cours des prélèvements de novembre 2013 sont présentées dans le tableau suivant.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6
Profondeur de l'ouvrage (m)	6	9	10.7	9	9	8.8
Profondeur eau / sol (m)	4.0	3.3	3.55	4.75	3.2	3.65
T (°C)	26.6	25.9	26.0	27.6	26.1	28.3
pH	10.4	9.3	8.9	9.3	9.4	6.9
Conductivité (µS/cm)	10950	7559	22470	22260	7513	21830

Résultats des mesures in-situ de la campagne de novembre 2013

Les résultats des analyses des échantillons prélevés lors de la campagne de novembre 2013 sont présentés dans le tableau suivant.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6
Hydrocarbures totaux (mg/l)	<0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07
Cr (mg/l)	0.003	10	0.007	0.003	0.011	0.003
Ni (mg/l)	0.03	12	0.04	0.01	0.02	0.01
Cu (mg/l)	0.01	0.1	0.02	0.02	0.02	0.01
Ca (mg/l)	79	130	29	140	22	120
Pb (mg/l)	0.03	0.99	0.07	0.21	0.09	0.06
PCB (mg/l)				<0.003		
Screening			Non détecté	Non détecté		

Résultats des analyses de la campagne de novembre 2013

4.4.3.2. - Campagne de mai 2014

Les mesures effectuées in situ au cours des prélèvements de mai 2014 sont présentées dans le tableau suivant. Le piézomètre PZ5 a été détruit suite à la construction d'une route. Le piézomètre PZ1 est partiellement comblé par des arrivées de fines, la hauteur d'eau n'étant plus que de 1 m dans l'ouvrage.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ5	PZ6
Profondeur de l'ouvrage (m)	6	9	10.7	9	Détruit	8.8
Profondeur eau / sol (m)	3.85	3.52	3.71	4.40	-	3.70

Résultats des mesures in-situ de la campagne de mai 2014

Les paramètres de terrain n'ont pas été relevés pour cette campagne. Les résultats des analyses des échantillons prélevés lors de la campagne de mai 2014 sont présentés dans le tableau suivant.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ6
Hydrocarbures totaux (mg/l)	<0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Cr (mg/l)	0.74	<0.065	<0.065	<0.065	<0.065
Ni (mg/l)	0.96	0.25	0.18	<0.13	<0.13
Pb (mg/l)	0.19	0.16	0.59	<0.13	<0.13
Cr6 (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Résultats des analyses de la campagne de mai 2014

Nous constatons que le chrome hexavalent n'est pas détecté.

4.4.3.3. - Campagne d'août 2014

Les mesures effectuées in situ au cours des prélèvements d'août 2014 sont présentées dans le tableau suivant. L'échantillon prélevé dans le piézomètre PZ7 a été prélevé à la fin du forage du puits. Le volume d'eau dans PZ1 était faible.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ6
Profondeur de l'ouvrage (m)	6	9	10.7	9	8.8
Profondeur eau / sol (m)	3.85	3.52	3.71	4.40	3.70
Température (°C)		25.9	25.8	28.2	29.3
Conductivité (µS/cm)		22800	22860	22320	21340

	PZ7	PZ8	PZ9	PZ10	PZ11
Profondeur de l'ouvrage (m)	6	9	10.7	9	8.8
Profondeur eau / sol (m)	3.85	3.52	3.71	4.40	3.70
Température (°C)		28.9			28.8
Conductivité (µS/cm)		21590			21680

Résultats des mesures in-situ de la campagne d'août 2014

Une phase surnageante a été observée sur PZ10. Les résultats des analyses des échantillons prélevés lors de la campagne d'août 2014 sont présentés dans le tableau suivant.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ6
Hydrocarbures totaux (mg/l)	0.07	0.2	0.18	0.11	0.25
Cr (mg/l)	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025
Ni (mg/l)	<0.025	<0.025	0.041	0.029	<0.025
Pb (mg/l)	<0.025	<0.025	0.091	<0.025	<0.025
Cr6 (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB (µg/l)	nd	nd	nd	nd	nd

	PZ7	PZ8	PZ9	PZ10	PZ11
Hydrocarbures totaux (mg/l)	2	0.08	0.16	9.1	0.15
Cr (mg/l)	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025
Ni (mg/l)	<0.025	0.046	0.22	0.05	<0.025
Pb (mg/l)	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025
Cr6 (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
PCB (µg/l)	0.042	nd	nd	nd	nd
HAP 16 (µg/l)				0.39	

Résultats des analyses de la campagne d'août 2014

4.4.3.4. - Campagne du 30 septembre 2014

Les mesures effectuées in situ au cours des prélèvements de septembre 2014 sont présentées dans le tableau suivant. Le piézomètre PZ7 n'a pas pu être prélevé, du fait de l'absence d'eau. Une phase surnageante a été observée sur PZ10. Aucune mesure de terrain n'est disponible.

Les résultats des analyses des échantillons prélevés lors de la campagne de septembre 2014 sont présentés dans le tableau suivant.

	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4	PZ6	PZ8	PZ9	PZ10	PZ11
Cond (mS/cm)	4.5	33	46	50	51	18	34	11	37
pH	11	7,9	8,4	7.8	8.2	8.6	8.3	8.1	8.8
HC totaux (mg/l)	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	23	0.14
Cl (mg/l)	530	11 000	17 000	18 000	19 000	6900	13 000	1 600	13 000
SO4 (mg/l)	930	1 600	720	2 700	2 600	980	1700	400	1 900
Cr (mg/l)	0.029	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Ni (mg/l)	0.035	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.46	0.11	<0.1	<0.1
Cu (mg/l)	0.008	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Zn (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
As (mg/l)	0.023	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Cd (mg/l)	<0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015	<0.0015
Pb (mg/l)	<0.010	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Hg µg/l)	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
HAP(6) (µg/l)	0.64	nd	nd	0.03	nd	nd	0.03	0.2	nd
PCB (µg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Résultats des analyses de la campagne de septembre 2014

Les composés organiques halogénés ont également été recherchés sur PZ3. Ils n'ont pas été détectés, avec un seuil de 0,5 µg/l pour chaque composé.

4.4.3.5. - Campagne du 08-09 octobre 2015 : piézomètres définitifs

Les mesures effectuées in situ au cours des prélèvements d'octobre 2015 sont présentées dans le tableau suivant. Cette campagne de mesure a porté sur les piézomètres définitifs P20 à P25, ainsi que sur deux piézomètres existant du réseau de surveillance de la SLN en aval proche du site de projet de la centrale C, à savoir P13 et P14.

Les ouvrages P20 à P25, de diamètre interne 112 mm ont été préalablement purgés à l'aide d'une pompe immergée. Ces ouvrages sont très productifs, les prélèvements ont été effectués après une purge de plus de 400 litres avec une pompe placée en fond d'ouvrage. Les ouvrages P13 et P14, de diamètre intérieur 52 mm, ont été purgés manuellement. Les volumes de purge sont de 20 l seulement sur ces ouvrages.

	P13	P14	P20	P21	P22	P23	P24	P25
Profondeur / capot (m)	4,44	4,14	3,60	4,23	4,40	4,25	4,60	3,72
Conductivité (µS/cm)	1 850	3 650	29 600	27 500	50 600	49 000	47 600	46 800
pH	8,6	9,8	7,5	7,9	7,4	8,4	8,4	8,3
As (µg/l)	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Cd (µg/l)	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5
Cr (µg/l)	17	31	<50	<50	<5	<5	<5	<5
Cu (µg/l)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hg (µg/l)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ni (µg/l)	13	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Pb (µg/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Zn (µg/l)	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
HC totaux (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	<0,05	<0,05
HAP(6) (µg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	0,19	nd	nd
PCB (µg/l)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
COV détectés :								
Cis1,2-dichloréthylène	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,9	<0,5
1,3 dichlorobenzène	<0,5	<0,5	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	2,3	1,2
1,4 dichlorobenzène	<0,5	<0,5	1,2	<0,5	<0,5	<0,5	6,2	1,2

Résultats des analyses de la campagne d'octobre 2015

Seuls les composés organiques volatils détectés sont présentés dans le tableau précédent. La recherche a porté sur 59 composés volatils de la liste EPA. La liste complète des composés recherchés est présentée dans le tableau suivant. Le seuil de quantification est identique pour chaque composé, à 0,5 µg/l.

1,1,1-Trichloroéthane	Dibromochlorométhane	Mésitylène	Dichlorodifluorométhane
1,1-Dichloropropène	1,2-Dibromoéthane	1,2,3-Trichlorobenzène	Chlorométhane
Tétrachlorométhane	Chlorobenzène	ter-Butylbenzène	Chlorure de vinyle
1,2-Dichloroéthane	1,1,1,2-Tétrachloroéthane	Pseudocumène	Bromométhane
Benzène	Ethylbenzène	sec-Butylbenzène	Chloroéthane
Trichloroéthylène	m-, p-Xylène	p-Isopropyltoluène	Trichlorofluorométhane
1,2-Dichloropropane	o-Xylène	1,3-Dichlorobenzène	1,1-Dichloroéthylène
Bromodichlorométhane	Styrène	1,4-Dichlorobenzène	Dichlorométhane
Dibromométhane	Tribromométhane	n-Butylbenzène	1,1-Dichloroéthane
Toluène	Cumène	1,2-Dichlorobenzène	2,2-Dichloropropane
cis-1,3-Dichloropropène	1,1,2,2-Tétrachloroéthane	Tétrachloroéthylène	cis-1,2-Dichloroéthylène
trans-1,3-Dichloropropène	1,2,3-Trichloropropane	1,2,4-Trichlorobenzène	Trichlorométhane
1,1,2-Trichloroéthane	Bromobenzène	Hexachloro-1,3-butadiène	Bromochlorométhane
1,3-Dichloropropane	n-Propylbenzène	Naphtalène	
trans-1,2-Dichloroéthylène	1-Chloro-4-Méthylbenzène	1,2-Dibromo-3-Chloropropane	1-Chloro-2-Méthylbenzène

Liste des 59 composés organiques volatils (COV) de la liste EPA recherchés

Nous constatons que les conductivités sont élevées, entre 25 et 50 mS/cm sur les piézomètres purgés à l'aide d'une pompe placée en fond d'ouvrage. Les deux piézomètres purgés manuellement au bailer présentent une conductivité de l'ordre de 2 à 4 mS/cm. Ceci est un biais dû au mode de prélèvement qui ne permet d'intercepter que les eaux les plus proches de la surface. Nous retenons que la conductivité est représentative d'une eau saumâtre, en amont comme en aval du site.

Les pH sont compris entre 7,5 et 8,5, sauf pour les piézomètres purgés manuellement qui présentent des pH plus élevés.

Les métaux ne sont pas détectés, sauf le chrome qui est détecté en concentration conforme pour une eau destinée à la fabrication d'eau potable sur les deux piézomètres purgés manuellement, et le nickel qui n'est mesuré qu'en faible concentration sur le piézomètre P13 purgé manuellement.

Les HAP(6) ne sont détectés que sur P23, à 0,19 µg/l pour une limite de qualité de 1 µg/l fixée pour les eaux destinées à la production d'eau potable. Ce niveau de concentration n'est pas préoccupant.

Les hydrocarbures ne sont détectés que sur P23 à 0,09 mg/l pour une limite de qualité de 1 mg/l fixée pour les eaux destinées à la production d'eau potable. Ce niveau de concentration n'est pas préoccupant.

Les PCB ne sont détectés sur aucun ouvrage, avec une limite de quantification de 0,003 µg/l par composé.

Parmi les COV, nous constatons que seuls 3 composés ont été détectés. Il s'agit :

- du cis-1,2 dichloréthylène qui a été détecté sur P24 à la concentration de 1,9 µg/l,
- du 1,3 dichlorobenzène détecté sur P24 et P25 à respectivement 2,3 et 1,2 µg/l,
- du 1,4 dichlorobenzène détecté sur P24 et P25 à respectivement 6,2 et 1,2 µg/l.

Quand il est présent dans l'eau souterraine, le 1,2-dichloréthylène est susceptible de provenir de la dégradation de composés plus chlorés, tels le trichloréthylène ou le tétrachloréthylène. Ces composés n'ont par contre pas été détectés. Aucune valeur limite n'a été fixée pour le 1,2-

dichloréthylène, que ce soit sous sa forme cis ou trans. Aucune donnée de toxicologie chronique n'est disponible chez l'homme. La substance n'a pas été examinée pour ses effets cancérigènes. Elle a été examinée en 2004 par l'Union Européenne pour le caractère génotoxique, mais n'a pas été classée. Aucun effet n'a pu être mis en évidence sur la reproduction. Du fait de sa faible toxicité, l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) a émis une directive de qualité pour l'eau de boisson à 50 µg/l. Le niveau de concentration mesuré dans l'eau souterraine sur le piézomètre P24 peut donc être considéré comme non significatif.

Le 1,3-dichlorobenzène est un produit qui était utilisé pour la fabrication d'herbicides, d'insecticides, de médicaments, de colorants et de solvants. Il n'y a pas de limite de qualité pour les eaux souterraines. Il existe par contre une norme de qualité environnementale fixée par l'arrêté du 20 avril 2005 à 10µg/l pour les eaux de surface. Les niveaux de concentration mesurés dans l'eau souterraine sont inférieurs à cette norme de qualité. On retiendra donc ce niveau de concentration comme étant non significatif.

Le 1,4-dichlorobenzène est un produit qui entraine dans la composition de répulsifs pour mites et de désodorisants d'air, en particulier blocs désodorisants employés dans les toilettes. Il était aussi utilisé comme insecticide et larvicide. En 2004, la substance a été classée en catégorie 3 pour ses effets cancérigènes par l'Union Européenne (substance préoccupante en raison d'effets cancérigènes possibles). Considéré comme un pesticide, la substance dispose d'une limite de qualité pour les eaux souterraines fixée à 0,1 µg/l pour chaque pesticide par l'arrêté du 11 janvier 2007. Toutefois, la valeur guide fixée par l'OMS pour cette substance spécifique est de 300 µg/l. La concentration sans effet prévisible pour l'environnement (PNEC) proposée par l'INERIS est de 20 µg/l pour le milieu aquatique. On en déduit que le niveau de concentration mesuré sur le site n'est pas significatif.

4.4.4. - Informations sur l'écoulement des eaux souterraines

Au cours du diagnostic, ce sont 11 piézomètres provisoires qui ont été installés dans le secteur d'étude. Le piézomètre PZ7 situé hors du périmètre de la future centrale n'est profond que de 5 mètres, il atteint à peine le toit des eaux souterraines. Il est fréquemment sec. Il n'est pas exploitable en l'état, et les mesures effectuées sur ce point, qu'il s'agisse de profondeur de l'eau ou d'analyses, ne peuvent pas donner lieu à une interprétation, l'eau ne pouvant y être renouvelée, et un biais pouvant être induit du fait de la faible hauteur d'eau (eau résiduelle dans le tubage par exemple).

Selon A2EP qui a eu en charge la réalisation des piézomètres et les prélèvements d'eau, aucun des piézomètres n'est productif, ce qui rend nécessaire le prélèvement par bailer (préleveur manuel), sans possibilité de purge du piézomètre. Cependant, les 6 piézomètres définitifs qui ont été réalisés au terme du diagnostic ont indiqué des productivités importantes, supérieures à 50 l/min pour des ouvrages présentant un diamètre intérieur de 112 mm. On en déduit que la perméabilité des scories est bonne.

Les piézomètres PZ1 à PZ6 n'ont pas été nivelés au cours des travaux de terrain et la cote du sol n'a été nivelée que sur les piézomètres PZ7 à PZ11. La mesure réalisée sur PZ10 n'est pas utilisable du fait de la présence de surnageant. Les mesures d'août 2014 indiquent les cotes suivantes pour le toit des eaux souterraines :

- 0.73 m sur PZ7
- 1,27 m sur PZ8

- 1,38 m sur PZ9
- 1,61 m sur PZ11.

On peut en déduire la direction d'écoulement suivante :



Direction d'écoulement des eaux souterraines selon les mesures d'août 2014

Cette direction d'écoulement qui est déterminée à partir des piézomètres PZ8, PZ9 et PZ10 paraît à priori surprenante car il était attendu que l'écoulement se ferait vers la mer. Mais cette hypothèse est infirmée par le potentiel plus élevé relevé sur PZ11.

Du fait de ces incertitudes, une campagne de nivellement des capots (niveau de référence) de chaque piézomètre a été effectuée en mars 2015, suivie d'une mesure synchrone des profondeurs de l'eau souterraine. Cette campagne a été réalisée sur tous les piézomètres de la plateforme industrielle, y compris ceux qui sont à l'extérieur du périmètre de la centrale C. Les sens d'écoulement qui en découlent ont été présentés en paragraphe 2.4. La cartographie est reprise ci-après : elle confirme la direction d'écoulement au droit de la zone de projet. L'écoulement est donc localement parallèle à la côte.



Directions d'écoulement des eaux souterraines au 18 mars 2015

Suite à la mise en place des piézomètres définitifs, et à leur nivellement par A2EP, une campagne de mesure a été réalisée. Celle-ci indique que les deux piézomètres situés près de la cote présentent les potentiels les plus faibles.

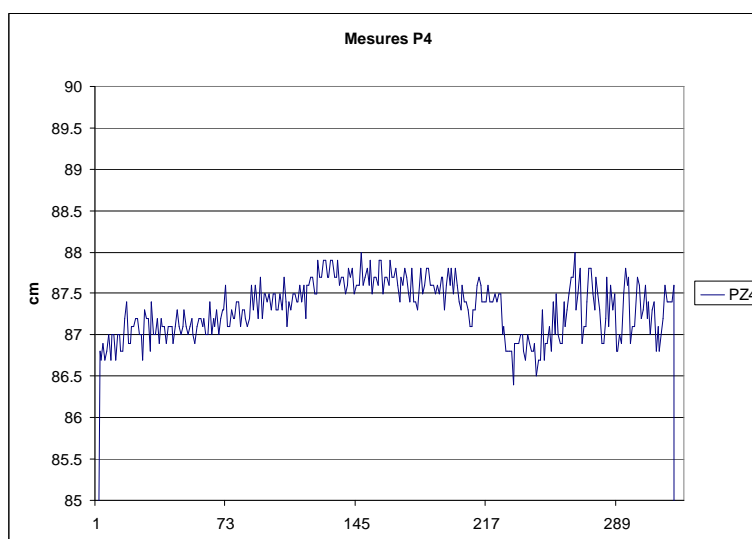
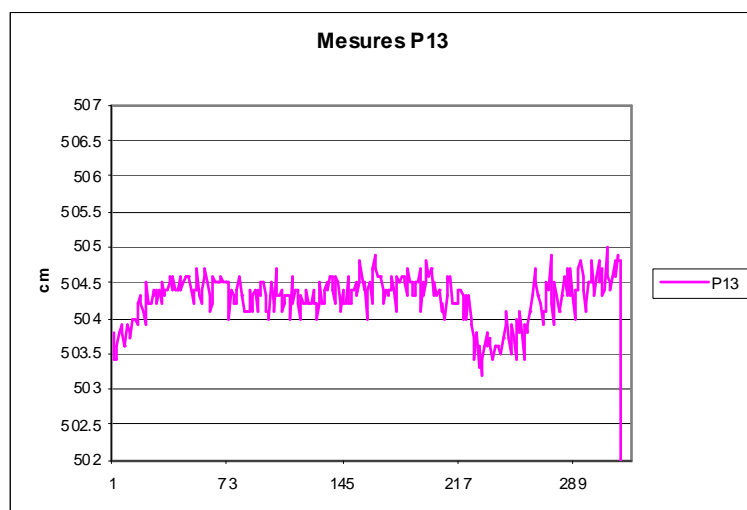


Directions d'écoulement des eaux souterraines en octobre 2015

Il apparaît que P23 présente un potentiel plus élevé. Un potentiel élevé était déjà observé sur PZ6 situé dans la même zone. L'origine de ce potentiel élevé n'est pas déterminée, mais elle pourrait être liée à la proximité du terrain naturel qui serait moins perméable que les scories (zone non remblayée).

Il apparaît également clairement que les deux ouvrages situés près de la cote indiquent des potentiels nettement plus faibles que les ouvrages situés sur la plateforme. Il y a donc, en limite de la plateforme industrielle, une composante de l'écoulement qui est dirigée vers la mer. Cette composante est plus faible quand on s'éloigne de la mer.

Pour répondre à la question de l'influence du marnage des eaux souterraines sur les mesures de profondeur de l'eau, des mesures en continu ont été réalisées sur 24 heures les 30 et 31 octobre 2014 sur le piézomètre PZ4 (noté P4) et sur le piézomètre P13 situé vers le milieu de la plateforme de Doniambo (hors périmètre de la centrale). Il s'agit de mesures de pression de l'eau avec correction de la pression atmosphérique. Les résultats de ces mesures sont présentés ci-dessous.



Variation du niveau des eaux souterraines durant un cycle de 24 heures
Mesures du 30 au 31 octobre 2014

Nous constatons que le battement journalier lié à la marée est de l'ordre de 1,5 cm sur les deux piézomètres. Nous pouvons en déduire que le marnage qui est de l'ordre de l'incertitude sur une mesure de profondeur, est trop faible pour perturber les mesures de profondeur et n'est pas de nature à perturber significativement les directions d'écoulement sur l'emprise du site de la future centrale. Il est largement inférieur aux différences de niveaux relevées entre PZ11 et PZ9.

4.4.5. - Interprétation des résultats des analyses d'eaux souterraines

4.4.5.1. - Sur les piézomètres provisoires

Sur les piézomètres provisoires PZ1 à PZ11, les eaux ont été prélevées sans purge préalable et conditionnées sans être filtrées pour l'analyse des métaux. Les premières analyses de métaux correspondent à des concentrations en métaux totaux de l'eau souterraine, et ne peuvent donc être comparées aux limites de qualité (arrêté du 11 janvier 2007) qui sont définies pour les métaux dissous dans l'eau. Comme ces eaux contenaient beaucoup de MES, les résultats ne peuvent pas être interprétés car ils sont influencés par la qualité et la quantité des MES. Ceci explique les variations très importantes des concentrations en métaux remarquées d'une campagne à l'autre. La campagne de septembre 2014 pour laquelle les échantillons ont été filtrés au laboratoire n'indique pas d'anomalie en métaux, mis à part le nickel sur PZ8 et PZ9.

Concernant les hydrocarbures, il apparaît que seul l'échantillon provenant du piézomètre PZ 10 situé au cœur de la zone polluée aux hydrocarbures, présente un impact significatif. Le constat de l'impact est essentiellement qualitatif, par la présence de surnageant. Du fait du mode de prélèvement par bailer, le résultat de l'analyse est sujet à discussion, car le surnageant est intercepté au moment de l'échantillonnage. L'épaisseur de surnageant n'a pas été estimée au moment des prélèvements.

Nous constatons que les autres piézomètres, même ceux qui sont proches de la zone impactée aux hydrocarbures, présentent une concentration en hydrocarbures inférieure à la limite réglementaire pour les eaux brutes (1 mg/l).

Les PCB n'ont pas été détectés dans les eaux souterraines, mis à part sur PZ7, mais ce piézomètre ne peut d'une part pas fournir d'échantillon représentatif de la qualité des eaux souterraines, et d'autre part l'échantillon d'eau a été prélevé à la fin des travaux de forage de l'ouvrage sans purge préalable. La mesure n'est donc pas représentative de la qualité de l'eau souterraine, elle est vraisemblablement impactée par les terrains qui ont été traversés lors de l'implantation du piézomètre. Cet ouvrage étant situé hors du périmètre d'étude, l'origine de la contamination n'a pas fait l'objet de recherches particulières dans le cadre de ce dossier. Toutefois, ce résultat pourrait s'expliquer par les témoignages recueillis dans le cadre de l'étude historique, selon lesquels des transformateurs auraient été stockés dans cette zone dans les années 1975 – 1980.

Les conductivités mesurées sont élevées et représentatives d'une eau saumâtre. Elles varient cependant beaucoup, de 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur PZ2 en novembre 2013 à 22 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en août 2014. Le mode de prélèvement pourrait vraisemblablement être lié à ces fluctuations importantes.

En conclusion, les mesures réalisées sur les piézomètres provisoires nous renseignent sur l'absence d'impact en hydrocarbures et en PCB dans les eaux souterraines, sauf au droit de

PZ10 pour les hydrocarbures où il y a présence de surnageant. Ce piézomètre est situé au cœur de la zone polluée aux hydrocarbures. Il n'y a pas de PCB dans l'eau de cet ouvrage.

Les analyses en métaux réalisées après filtration des eaux n'indiquent pas d'impact pour les métaux, sauf pour le nickel sur les piézomètres PZ8 et PZ9.

4.4.5.2. - Sur les piézomètres définitifs du futur réseau de surveillance

La campagne d'octobre 2015 a été réalisée sur les piézomètres définitifs du réseau de contrôle des eaux souterraines proposé pour la future centrale C.

Cette campagne a été réalisée sur des piézomètres de diamètre intérieur 112 mm qui permettent une purge avant prélèvement. La productivité de ces ouvrages est bonne, ce qui permet d'obtenir des échantillons représentatifs de la qualité de l'eau souterraine. Deux piézomètres existants du réseau de surveillance de la SLN ont également été contrôlés lors de cette campagne. Ces ouvrages, de diamètre moindre, n'ont pas fait l'objet d'une purge suffisante, et les résultats obtenus sont donnés à titre indicatif.

La campagne d'octobre 2015 indique :

- que la conductivité est représentative d'une eau saumâtre, sauf sur les piézomètres ayant fait l'objet d'une purge manuelle sur un volume insuffisant,
- que les métaux ne sont pas détectés, sauf le chrome et le nickel, en concentrations conformes pour une eau brute destinée à la production d'eau potable, et uniquement sur les ouvrages prélevés sans purge suffisante,
- que les hydrocarbures et les HAP(6) ne sont détectés que sur un ouvrage, P23, situé en amont hydraulique de la zone de projet, les concentrations relevées sont conformes pour une eau brute destinée à la production d'eau potable,
- que les PCB ne sont détectés sur aucun ouvrage,
- que parmi les 59 COV de la liste EPA qui ont été recherchés sur les 8 ouvrages contrôlés, seuls trois ont été détectés en concentrations non significatives sur P24 (amont hydraulique), un a été détecté sur P25 (en aval hydraulique de P24), les autres ouvrages étant exempts de COV.

4.4.5.3. - Conclusions sur les résultats des analyses d'eau souterraine

En conclusion, les investigations sur les eaux souterraines nous indiquent que l'eau souterraine est de qualité satisfaisante au droit de la zone de projet de la centrale C, et que les anomalies de la qualité des sols identifiées sur la zone, n'ont pas d'impact sur la qualité des eaux souterraines en limite de la zone de projet. Ces résultats confirment également que les COHV (composés organiques halogénés volatils) ne constituent pas une problématique pour ce site.

Du fait de l'absence de PCB et de COHV dans les eaux souterraines qui constituent le milieu de transfert vers le milieu marin, il n'est pas nécessaire de rechercher ces substances dans les sédiments marins, du fait de l'absence de voie de transfert.

Aucune investigation n'est donc à réaliser dans le milieu marin dans le cadre du diagnostic de la zone de projet de la centrale C.

4.5. - SYNTHESE DU DIAGNOSTIC DE LA QUALITE DES SOLS

4.5.1. - Les anomalies constatées sur la qualité des sols

Les anomalies constatées sur la qualité des sols concernent d'une part des concentrations en métaux supérieures aux valeurs de référence du fond géochimique local, et d'autre part, la présence de concentrations en composés organiques.

Concernant les métaux, des dépassements de valeurs de référence sont constatées pour le cadmium, le cuivre, le plomb et le nickel. En surface, ces dépassements sont essentiellement constatés au droit du parc à ferrailles.

Le tableau suivant reprend pour les horizons de surface et les horizons profonds, les concentrations moyennes mesurées, la médiane, le 95^{ème} centile et la concentration maximale pour ces quatre éléments. Les concentrations supérieures aux valeurs de référence sont présentées en caractères gras et rouges.

Ces grandeurs statistiques ont une signification dans le sens où les échantillons proviennent de façon relativement bien répartie de l'ensemble de la zone d'étude.

	Cadmium (mg/kg)	Cuivre (mg/kg)	Plomb (mg/kg)	Nickel (mg/kg)
Valeur de référence	0.5	35	29	14 000
Moyenne surface	0.73	56.8	114	4915
Médiane surface	0	9	10	3200
95 ^{ème} centile surface	3.06	274	532	16400
Maximum surface	7	600	630	23000
Nombre de mesures	37	37	37	37
Moyenne fond	0.12	35.4	29.6	2386
Médiane fond	0	6.5	0	1700
95 ^{ème} centile fond	1.18	202	235	6580
Maximum fond	1.8	480	290	14000
Nombre de mesures	38	38	38	38

Distributions statistiques des concentrations en métaux

Concernant les composés organiques pour lesquels il n'y a pas de valeurs de référence, la présence de concentrations est constatée de façon dispersée sur l'ensemble du site, mais également de façon concentrée en certains points.

Le tableau suivant reprend pour les horizons de surface et les horizons profonds, les concentrations moyennes mesurées, la médiane, le 95^{ème} centile et la concentration maximale pour la somme des HAP(16), pour les hydrocarbures totaux ainsi que pour la somme des PCB(7).

Pour les hydrocarbures et les PCB, ces grandeurs statistiques sont biaisées car les zones impactées ont fait l'objet de sondages complémentaires et sont donc significativement mieux

représentées dans la répartition des échantillons. Les valeurs anormales s'en retrouvent donc surpondérées. Pour les HAP, les distributions statistiques sont indiquées à titre purement informatif, le faible nombre d'analyses ne permettant pas leur exploitation statistique.

	Somme des HAP(16) (mg/kg)	Hydrocarbures totaux C10 – C40 (mg/kg)	Somme des PCB(7) (mg/kg)
Moyenne surface	9.86	1189	1.84
Médiane surface	0.5	74	0.011
95 ^{ème} centile surface	48.6	6980	2.86
Maximum surface	77	25000	100
Nombre de mesures	9	140	163
Moyenne fond	1.28	1718	4.95
Médiane fond	0.09	95	0
95 ^{ème} centile fond	4.21	10400	5.14
Maximum fond	4.8	37000	470
Nombre de mesures	14	194	319

Distributions statistiques des concentrations en composés organiques

Comparées aux médianes, les moyennes sont significativement plus importantes, ce qui indique qu'elles sont fortement tirées vers le haut par les concentrations les plus élevées.

On constate en effet que les médianes sont nulles ou quasi nulles pour les PCB et que les concentrations maximales sont 50 et 100 fois supérieures aux moyennes pour l'horizon superficiel respectivement profond et que le 95^{ème} centile est proche de la moyenne pour les horizons superficiels et profonds. Ce type de distribution est caractéristique de l'effet de pépité lié à des points spots qui ne sont pas représentatifs de leur voisinage.

Pour les hydrocarbures, on relève également des écarts importants entre la moyenne et la médiane. Dans les horizons superficiel et profond, le maximum est 3,5 fois plus élevé que le 95^{ème} centile. Ce type de distribution correspond plutôt à des anomalies locales mais représentant tout de même une certaine extension (en terme de densité de sondages).

4.5.2. - Les anomalies constatées sur la qualité des eaux souterraines

La carte des piézomètres du site est présentée en paragraphe 4.4.4, avec la direction d'écoulement au droit de la zone d'étude.

Anomalies constatées sur les piézomètres provisoires

Les modalités de prélèvement qui ont été retenues sur les piézomètres provisoires exploités au début du diagnostic appellent des réserves sur l'interprétation des résultats, en particulier au regard de la norme de référence (FDX 31-615). En effet, les eaux ont été prélevées sans purge préalable, et, pour certaines campagnes, sans filtration pour les échantillons destinés à l'analyse des métaux : les résultats des analyses indiquent des variations très importantes sur les concentrations mesurées en métaux, ce qui est très vraisemblablement lié à la présence de matières fines en suspension dans l'eau.

Les mesures en composés organiques indiquent l'absence de PCB dans les eaux souterraines (sauf sur PZ7), et la présence d'hydrocarbures totaux. Les concentrations en hydrocarbures

restent toutefois inférieures à la limite réglementaire de 1 mg/l pour les eaux brutes, sauf au droit du piézomètre PZ10.

Anomalies constatées sur les piézomètres définitifs

Les piézomètres définitifs ont permis la réalisation de prélèvements suivant les règles de l'art. Ces piézomètres n'indiquent aucun impact significatif des sols du site de la centrale C sur la qualité des eaux souterraines en limite du site.

Anomalie aux hydrocarbures de PZ10

Ce piézomètre est situé au cœur de la zone significativement impactée par des hydrocarbures.

Les piézomètres voisins et proches, présentent des concentrations assez variables, mais conformes. La dernière campagne réalisée sur les piézomètres provisoires (30 septembre 2014) indique la présence d'hydrocarbures sur PZ1 (0,07 mg/l), sur PZ10 (23 mg/l) et sur PZ11 (0,14 mg/l). Les hydrocarbures n'ont pas été détectés sur les autres ouvrages. Ils ne sont pas détectés en aval hydraulique, sur les piézomètres définitifs implantés en limite de la zone d'étude.

Le piézomètre PZ10 est encadré par deux ouvrages situés en aval immédiat (PZ4, PZ9) qui ne présentent pas d'impact. L'ouvrage PZ11 est latéral à PZ10 par rapport à l'écoulement, il n'est que légèrement impacté, en concentration conforme pour une eau qui serait destinée à la production d'eau destinées à la consommation humaine.

On en déduit que la pollution constatée sur les eaux souterraines est très localisée, vraisemblablement limitée à un surnageant flottant sous la zone où les sols sont impactés par les hydrocarbures. Il est même vraisemblable que cette pollution migre très lentement du fait de la granulométrie des scories et qu'elle ait été provoquée par la réalisation du piézomètre qui a ainsi permis la migration verticale des hydrocarbures contenus dans les scories.

Anomalie aux PCB de PZ7

Le point PZ7 est situé hors du périmètre du projet d'étude. Il s'agit d'un sondage qui aurait dû être transformé en ouvrage piézométrique, mais qui a essuyé un refus à la profondeur de 6 m. Cet ouvrage n'a fait l'objet d'aucun pompage. Un échantillon d'eau souterraine a été prélevé en fin de fonçage et soumis à l'analyse. En aucun cas, un échantillon prélevé de cette façon ne peut être interprété comme représentatif de la qualité de l'eau souterraine car il contient des cuttings entraînés en cours de fonçage vers le fond de l'ouvrage.

Ce résultat ne permet donc pas d'affirmer que du PCB a rejoint les eaux souterraines dans cette zone, il n'en est pas moins que des traces de PCB ont été relevées sur cet ouvrage, et qu'il est vraisemblable que des concentrations soient présentes dans le sol. Cette zone étant située hors du périmètre du projet de la centrale C, la suite à donner à cette anomalie devra faire l'objet d'une étude indépendante de ce projet.

Le contrôle réalisé sur les piézomètres définitifs qui encadrent le site n'a pas permis de détecter des PCB dans les eaux souterraines.

4.5.3. - Conclusions du diagnostic de la qualité des sols

Le diagnostic de la qualité des sols a mis en évidence des anomalies en composés organiques ainsi que des impacts en métaux plus particulièrement au droit de l'ancien parc à ferrailles qui a été exploité sur le site.

Les anomalies en métaux concernent notamment :

- le cadmium avec une anomalie ponctuelle à 7 mg/kg dans le parc à ferrailles, les autres anomalies présentent des concentrations deux fois moins élevées
- le cuivre avec une anomalie ponctuelle à 600 mg/kg dans le parc à ferrailles, les autres anomalies présentent des concentrations deux fois moins élevées
- le plomb qui présente une anomalie sur l'ensemble du parc à ferrailles à un niveau de concentration qui se situe entre 400 et 630 mg/kg.

Concernant les composés organiques, on constate :

- une anomalie ponctuelle en HAP au sud du parc à boues, en surface du sol ; la concentration mesurée est de 77 mg/kg pour la somme des 16 HAP,
- des anomalies en hydrocarbures totaux qui sont :
 - o ponctuelles et superficielles dans le parc à ferrailles avec des concentrations qui atteignent 8600 mg/kg
 - o ponctuelles et profondes à l'ouest du parc à boues, avec une concentration de 6300 mg/kg
 - o superficielles dans le parc à boues avec une concentration qui peut atteindre 21 000 mg/kg, et 11 000 mg/kg mesuré en profondeur un peu plus au sud,
 - o étendues, en surface et en profondeur au sud du parc à boues avec des concentrations supérieures à 20 000 mg/kg
- trois anomalies en PCB de faibles extensions, et une anomalie un peu plus étendue sur quelques dizaines de mètres carrés. La concentration maximale mesurée est de 470 mg/kg.

Sur les eaux souterraines, un impact est constaté pour les hydrocarbures, avec présence de phase flottante, uniquement dans la zone où les sols sont significativement impactés par les hydrocarbures, mais les PCB ne sont pas détectés dans ce milieu. L'analyse des eaux souterraines montre donc qu'il n'y a pas de transfert de pollution et donc pas de migration possible vers le milieu marin.

5. - SCHEMA CONCEPTUEL DU SITE

5.1. - SYNTHESE DES ANOMALIES

5.1.1. - Localisation des anomalies

Plusieurs anomalies peuvent être distinguées sur le site. Leurs localisations sont présentées en figure 6.

Il s'agit :

- de concentrations supérieures aux valeurs de référence pour les métaux rencontrés localement en profondeur, au droit du parc à ferrailles au sud du parc à boues ainsi qu'au sud-est du parc à boues,
- des anomalies polymétalliques (Cd, Cu, Pb) de l'horizon superficiel du parc à ferrailles qui sont localement concernées aussi par des composés organiques,
- d'une anomalie en HAP en surface du sol au droit du parc à boues, les concentrations mesurées sur les autres points ne sont pas retenues car près de 10 fois inférieure à la limite fixée pour un déchet inerte,
- d'une anomalie en hydrocarbures en surface, au droit du parc à boues,
- d'une anomalie locale en hydrocarbures en profondeur à l'ouest du parc à boues,
- d'une anomalie locale en hydrocarbures en profondeur au sud du parc à boues,
- d'une anomalie en hydrocarbures au sud-est du parc à boues, relativement étendue, et concernant la surface et la profondeur,
- d'anomalies en PCB dans l'ancienne zone de traitement des transformateurs, ces anomalies sont distinctes de celles aux hydrocarbures,
- de la présence locale d'une phase légère sur les eaux souterraines, associée à des concentrations élevées en hydrocarbures.

5.1.2. - Substances associées aux anomalies

Les substances associées aux anomalies du site sont les suivantes :

- les hydrocarbures,
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP),
- les PCB,
- les métaux (Cd, Cu, Pb)

Les propriétés physico-chimiques telles la solubilité ou la volatilité par exemple conditionnent les possibilités de migration des substances. Ces propriétés ont été décrites de façon générale dans le paragraphe 3.3.3 pour les substances associées aux anomalies.

Elles sont reprises dans le paragraphe suivant avec les propriétés toxicologiques, cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques ainsi que les valeurs toxicologiques de référence qui permettront l'évaluation du risque sanitaire lié à ces substances.

5.2. - DESCRIPTION DES SUBSTANCES ASSOCIEES AUX ANOMALIES

5.2.1. - Les hydrocarbures totaux

Les hydrocarbures totaux sont des mélanges de différentes molécules. Il convient de les apprécier en fonction du nombre d'atomes de carbone.

La méthode analytique par chromatographie en phase gazeuse utilisée pour les quantifier permet la quantification de tout hydrocarbure de type alcane aliphatique dont le poids moléculaire est compris entre ceux du n-décane (C10) et du n-tétracontane (C40). L'interprétation du comportement dans l'environnement de chaque composé individuel n'est pas envisageable, mais certaines propriétés se dégagent pour l'ensemble des composés de cette famille.

Les hydrocarbures identifiés sur le site du projet de centrale C présentent généralement la même coupe, à quelques exceptions près. La coupe pétrolière générale et les exceptions sont présentées dans le tableau suivant.

	C10-C12 (%)	C12-C16 (%)	C16-C21 (%)	C21-C35 (%)	C35-C40 (%)
Cas général	1 - 2	5 - 11	15 - 22	55 - 65	10 - 16
B5-C4-SC40	0	0 - 2	3 - 11	70 - 82	17 - 19
G8	0	5	41	49	5
SC35	0	8	58	37	0

Coupes pétrolières rencontrées sur le site

Le cas général correspond à un produit de type huile.

La zone B5-C4-SC40 (jusqu'à 8600 mg/kg) située dans l'ancien parc à ferrailles est concernée par une huile plus lourde que celle qui constitue le cas général, il s'agit peut être d'une huile hydraulique. Les PCB ont été recherchés sur SC40 en surface et en fond et n'ont pas été détectés.

La zone G8 est concernée par un produit qui pourrait être de type fuel (1700 mg/kg) alors que la zone SC35 est concernée par du gasoil (1900 mg/kg).

Le TPHCWG (Total Petroleum Hydrocarbin Criteria Working Group) et le MADEP (Massachusetts Department of Environmental Protection) ont proposé des approches globales par type de produit. Ces approches sont basées sur l'hypothèse que des produits chimiquement similaires (aliphatiques ou aromatiques) et présentant les mêmes températures d'ébullition se comporteront également de façon similaires. Partant de cette hypothèse, le TPHCWG a défini les caractéristiques physico-chimiques et les valeurs toxicologiques spécifiques pour 6 groupes de composés aliphatiques et 7 groupes de composés aromatiques.

Ces groupes sont présentés dans le tableau suivant, avec en regard des coupes considérées, leurs proportions respectives dans un mélange de type huile minérale.

	Nombre d'atomes de carbone équivalent	Proportions dans une huile minérale (%)
Hydrocarbures aliphatiques	C>5 – C6	0
	C>6 – C8	0
	C>8 – C10	0.1
	C>10 – C12	0.3
	C>12 – C16	16
	C>16 – C35	70
Hydrocarbures aromatiques	C>5 – C7	0
	C>7 – C8	0
	C>8 – C10	0.1
	C>10 – C12	0.1
	C>12 – C16	0.7
	C>16 – C21	8
	C>21 – C35	4.6

Nature des hydrocarbures associés aux anomalies

Nous constatons que la correspondance entre la coupe huile déterminée par le TPHCWG n'est pas exactement la même que celle du site, ce qui est vraisemblablement lié au vieillissement des produits et à la dégradation plus rapide des composés les plus légers. En effet, les composés légers sont sous-représentés sur le site par rapport à la coupe du TPHCWG.

Or, il s'avère que les composés les plus légers sont les plus problématiques en termes de mobilité et de toxicité, les composés comportant plus de 16 atomes de carbones ne sont pas volatils et donc non pris en compte dans l'évaluation du risque lié à l'exposition par inhalation.

Les seules valeurs toxicologiques de référence disponibles pour les hydrocarbures sont celles du TPHCWG.

Dans le cas de ce site, la coupe pétrolière proposée par le TPHCWG est pénalisante pour une utilisation dans l'évaluation quantitative des risques sanitaires. Il s'agit donc d'une approche conservatoire, c'est pour cette raison que nous la retiendrons dans le cadre de ce dossier.

Par ailleurs, pour rester conservatoire, la fraction C35-C40 qui représente 10 à 16% des hydrocarbures totaux mesurés sur site ne sera pas déduite de la concentration en hydrocarbures totaux qui sera transcrite dans la coupe proposée par le TPHCWG. Cette approche surestime d'autant les concentrations des fractions participant aux expositions dans les calculs de risque.

5.2.2. - Les HAP

Les HAP sont des composés très liposolubles et sont absorbés par le poumon, l'intestin et la peau. Quelle que soit la voie d'exposition, ils sont rapidement distribués dans l'ensemble de l'organisme et en particulier le foie où le métabolisme des HAP s'effectue en deux phases :

- la phase A qui va aboutir à la formation de tétrols cancérigènes par l'action des enzymes,
- la phase B de détoxification qui forme des composés conjugués rapidement éliminés.

Dans le cas du benzo(a)pyrène par exemple, les tétrols formés sont capables de se lier solidement aux protéines et à l'ADN en y fixant un radical chimique qui peut provoquer une

mutation au sein du patrimoine génétique des tissus et constitue de ce fait un phénomène d'initiation à de la cancérogenèse.

Les HAP les plus volatils (naphtalène par exemple) sont irritants pour les muqueuses et au niveau pulmonaire, voire sensibilisant, donc allergènes dans les expositions professionnelles. Les principaux HAP sont de puissants cancérogènes (cancer de la vessie, cancer du poumon). Le pouvoir cancérogène est maximum pour les molécules comptant quatre ou cinq cycles aromatiques.

Actuellement, les effets toxicologiques de tous les HAP sont imparfaitement connus. Toutefois, les données expérimentales disponibles chez l'animal ont montré que certains HAP pouvaient induire spécifiquement de nombreux effets sur la santé, des effets systémiques (effets hépatiques, hématologiques, immunologiques et développement d'athérosclérose), et/ou des effets sur la reproduction ainsi que des effets génotoxiques et cancérogènes.

L'évaluation de la relation dose-réponse induite par une exposition aux HAP s'avère délicate puisque la population est, dans la plupart des cas, exposée à un mélange de HAP, associés ou non à d'autres substances chimiques. Dans le cas de mélanges d'HAP et d'une exposition par inhalation, l'INERIS propose, pour les effets cancérogènes, d'évaluer le risque lié à une exposition par inhalation en prenant en compte le seul Excès de Risque Unitaire (ERUi) spécifique du benzo[a]pyrène, soit l'ERUi de $1,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)\text{-1}$ proposé par l'OEHHA et de lui appliquer les facteurs d'équivalence toxique (FET). L'INERIS propose par contre d'utiliser pour les autres expositions (voie orale, contact, ...), et pour les effets non cancérogènes, d'utiliser l'approche substance par substance qui est plus standardisée et s'adapte à tous les types de mélange. En effet, l'approche par FET a essentiellement été développée dans le cas d'une exposition par inhalation (type fours à coke, etc.).

Les propriétés physico-chimiques des HAP associés aux sources de pollution sont récapitulées ci-dessous.

Le naphtalène est volatil, sa pression de vapeur est de $7,2 \cdot 10^{-3}$ kPa à 20°C, la constante de Henry est de $48,9 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ à 20°C. Son évaporation à partir de la surface du sol ou de la surface de l'eau est importante. Sa densité sous forme solide est de 1.161 ; sa solubilité dans l'eau est de 31.8 mg/l. Peu soluble dans l'eau, il est relativement mobile dans le sol, il est lixiviable (adsorption modérée). Le naphtalène pourrait être cancérogène pour l'homme (classe C de l'US EPA).

Le fluorène est peu volatil à partir de sols secs, sa pression de vapeur est de $4,2 \cdot 10^{-5}$ kPa à 25°C. Dans l'air il est présent sous forme vapeur. Il ne se volatilise pas facilement à partir de sols mouillés ou à partir de la surface de l'eau, sa constante de Henry est de $9,2 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ à 20°C. Sa densité sous forme solide est de 1.181 ; sa solubilité dans l'eau est de 1.98mg/l. Peu soluble dans l'eau, il est également très peu mobile dans les sols. Le fluorène ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme (groupe 3 du CIRC).

Le phénanthrène est très modérément volatil à partir de sols secs, sa pression de vapeur est de $9,1 \cdot 10^{-4}$ kPa à 20°C. Dans l'air il est présent sous forme vapeur. Il ne se volatilise pas facilement à partir de sols mouillés ou à partir de la surface de l'eau, sa constante de Henry est de $2,9 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ à 20°C. Sa densité sous forme solide est de 1.179 ; sa solubilité dans l'eau est de 1.2mg/l. Très peu soluble dans l'eau, il est également peu mobile dans les sols et migre peu vers

les eaux souterraines. Le phénanthrène ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme (groupe 3 du CIRC, 1987).

L'anthracène est peu volatil à partir de sols secs, sa pression de vapeur est de $3,6 \cdot 10^{-7}$ kPa à 25°C. Il se volatilise cependant facilement à partir de sols mouillés ou à partir de la surface de l'eau, sa constante de Henry est de $5,04 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$ à 20°C. Sa densité sous forme solide est de 1.28 ; sa solubilité dans l'eau est de 1.289 mg/l. Peu soluble dans l'eau, il est également faiblement mobile dans les sols. L'anthracène ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme (groupe 3 du CIRC).

Le pyrène est peu volatil, sa pression de vapeur est comprise entre $1,2 \cdot 10^{-5}$ et $6 \cdot 10^{-3}$ kPa à 25°C, sa constante de Henry est de $0,0011 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$ à 20°C. Sa densité sous forme solide est de 1.271 ; sa solubilité dans l'eau est de 0,13 mg/l. La mobilité du pyrène est négligeable dans les sols, il est peu soluble. On peut le retrouver sous forme particulaire ou sous forme de vapeurs dans l'atmosphère. Il ne se dégrade pas facilement dans l'eau ou dans les sols. Le pyrène est classé dans le groupe 3 par le CIRC : ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme.

Le fluoranthène est très peu volatil sur sol sec, sa pression de vapeur est de $8 \cdot 10^{-6}$ kPa à 20°C, la constante de Henry est de $0,8 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$ à 20°C, il ne se volatilise pas facilement sur sol humide ou à partir de l'eau. Sa densité sous forme solide est de 1.252 ; sa solubilité dans l'eau est de 0.26 mg/l. Il est peu mobile dans le sol, son hydrolyse est négligeable. Très peu soluble dans l'eau, il s'adsorbe facilement sur les matières en suspension. Il est classé en groupe 3, substance qui ne peut être classée pour sa cancérogénicité pour l'homme (1987).

Le chrysène n'est pas volatil sur sol sec (la pression de vapeur est de $8,4 \cdot 10^{-8}$ kPa), il est peu volatil sur sol humide ou à partir de l'eau, sa constante de Henry est de $0,1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$. Sa densité sous forme solide est de 1.274 ; sa solubilité dans l'eau est de $2 \cdot 10^{-3}$ mg/l. Insoluble dans l'eau, il s'adsorbe facilement sur les matières en suspension. L'Union Européenne a classé le chrysène dans la deuxième catégorie, substance devant être assimilée à une substance cancérigène pour l'homme (2004).

Le dibenzo(a,h)anthracène n'est pas volatil. Sa pression de vapeur est de $1,3 \cdot 10^{-11}$ kPa à 25°C, sa constante de Henry est de $0,0048 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$ à 20°C. Sa densité sous forme solide est de 1.282 ; sa solubilité dans l'eau est de $0,5 \cdot 10^{-3}$ mg/l. Insoluble dans l'eau, il est également relativement peu mobile dans les sols. Selon l'Union Européenne, le dibenzo(a,h)anthracène fait partie de la deuxième catégorie, substance devant être considérée comme une substance cancérigène.

Le benzo(b)fluoranthène est peu volatil. Sa pression de vapeur est de $6,7 \cdot 10^{-8}$ kPa à 25°C, sa constante de Henry est de 0.05 à $15,6 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$ à 25°C. Sa densité sous forme solide n'est pas déterminée ; sa solubilité dans l'eau est de 0,012 mg/l. Insoluble, dans l'eau il est associée à la phase particulaire ou aux sédiments. Sa mobilité dans les sols est très modérée. Il ne se dégrade pas facilement dans les sols. Selon l'Union Européenne, il fait partie de la deuxième catégorie, substance devant être considérée comme une substance cancérigène.

Le benzo(k)fluoranthène est peu volatil. Sa pression de vapeur est de $7 \cdot 10^{-8}$ kPa à 25°C, sa constante de Henry est de $0,044 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$ à 20°C. Sa densité sous forme solide n'est pas déterminée ; sa solubilité dans l'eau est de $7,6 \cdot 10^{-4}$ mg/l. Insoluble, dans l'eau il est associée à la phase particulaire ou aux sédiments. Il est très peu mobile dans les sols. Selon l'Union

Européenne, il fait partie de la deuxième catégorie, substance devant être considérée comme une substance cancérigène (2004).

Le benzo(a)pyrène est très peu volatil, sa pression de vapeur est de $7.3.10^{-10}$ kPa, sa constante de Henry est de $0.04 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$. Sa densité solide est de 1,351, sa solubilité dans l'eau est de 3.10^{-3} mg/l. Insoluble dans l'eau, il s'adsorbe facilement sur les matières en suspension et les sédiments. La mobilité du benzo(a)pyrène est faible (adsorption importante) dans les sols comme dans les eaux. Sa volatilisation depuis les eaux ou les sols est également très peu importante. L'Union Européenne a classé le benzo(a)pyrène dans la deuxième catégorie, substance devant être assimilée à une substance cancérigène pour l'homme (2004).

Le benzo(g,h,i)pérylène n'est pas volatil. Sa pression de vapeur est de $1.4.10^{-11}$ kPa à 25°C, sa constante de Henry est de $0.027 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$ à 20°C. Sa densité sous forme solide est de 1,329 ; sa solubilité dans l'eau est de $2.6.10^{-4}$ mg/l. Insoluble dans l'eau, il est également relativement peu mobile dans les sols. Selon l'Union Européenne, le benzo(g,h,i)pérylène est classé dans le groupe 3 par le CIRC : ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme.

L'indeno(1,2,3-c,d)pyrène est très peu volatil, sa pression de vapeur est de $1.3.10^{-11}$ kPa, sa constante de Henry est de $0.029 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$. Sa densité solide n'a pas été déterminée. Sa solubilité dans l'eau est de 0,062 mg/l. Très peu soluble dans l'eau, il s'adsorbe facilement sur les matières en suspension et les sédiments. La mobilité de l'indeno(1,2,3-c,d)pyrène est faible (adsorption importante) dans les sols comme dans les eaux. Sa volatilisation depuis les eaux ou les sols est également très peu importante. Le CIRC a classé le l'indeno(1,2,3-c,d)pyrène dans le groupe 2, pourrait être cancérigène pour l'homme (1973).

5.2.3. - Les PCB

Les 209 congénères de PCB sont répartis selon 2 catégories (PCB de type dioxine (PCB dioxine-like- PCB-DL) et les autres PCB (PCB Non dioxin Like- PCB-NDL)) établies en prenant en compte uniquement les effets tératogènes¹ des PCB. Les PCB de type dioxine ont une configuration plane, très comparable aux dioxines. Parmi ceux-ci, 12 sont considérés comme les plus toxiques pour la santé (4 ortho : 77, 81, 126 et 169 ; et 8 non-ortho : 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167 et 189). Néanmoins, ils sont les moins abondants dans les mélanges industriels comme dans les matrices environnementales (PIREN Seine, 2009).

En 1982, 7 PCB (PCB indicateurs ou PCB_i) parmi les 209 congénères ont été sélectionnés par le Bureau Communautaire de Référence de la Commission Européenne (Bruxelles) comme étant les composés à rechercher en priorité dans les analyses de matrices organiques (sédiment, sang, chair, graisse) du fait de leur persistance et de leur abondance dans l'environnement ainsi que de leurs propriétés toxicologiques (Dagnat et Fisson, 2010). Les « PCB indicateurs » représentent près de 80 % des PCB totaux : le plus souvent les 118, 138, 153 et 180 mais aussi les 28, 52 et 101 (tous sauf le PCB 118 sont des PCB-NDL) (INRS, 2007).

Les formulations les plus courantes avaient pour nom commercial « Pyralène » ou « Aroclor ». Les « Aroclors » les plus répandus sont (Agence de l'eau Seine-Normandie, 2009) :

- PCB 1242 - n°CAS : 53469-21-9 ;
- PCB 1248 - n°CAS : 12672-29-6 ;
- PCB 1254 – n°CAS : 11097-69-1 ;

- PCB 1260 – n°CAS : 11096-82-5.

Les PCB sont, en tant que groupe, classés par le Circ dans le groupe 2A et par l'US-EPA dans le groupe B2 sur la base de données insuffisantes chez l'homme et suffisantes chez l'animal. En 1996, des études ont mis en évidence des tumeurs du foie chez des rats exposés à l'aroclor 1260. Des études précédentes avaient conduit à des observations identiques.

Les 7 PCB_i sont classés comme perturbateurs endocriniens avérés (catégorie 1) par l'Union Européenne.

Les déchets contenant plus de 50 mg/kg sont classés en déchets dangereux (543-17 à R543-41 du Code de l'Environnement français).

Les PCB sont des composés persistants dont les propriétés physico-chimiques varient avec le nombre et la position des atomes de chlore. Les molécules les plus chlorées sont les plus stables physico-chimiquement et ne sont pas biodégradables.

Dans le cas du site de projet de la centrale de Doniambo, les PCB_i présents sont essentiellement les PCB 1358, PCB 153 et PCB 180 qui sont des hexa et hepta-chlorobiphényles qui présentent des solubilités maximales de 0,7 respectivement 0,2 µg/l.

Les PCB sont faiblement mobiles dans les sols du fait de leur faible solubilité et d'un coefficient de partage K_{ow} élevé. En conséquence, ils sont donc persistants dans les sols. Leur lixiviation est faible, en particulier pour les composés les plus chlorés. Leur coefficient de distribution K_d augmente également avec le nombre d'atomes de chlore. Plus le PCB est chloré, moins il est volatil.

Le n° CAS d'un mélange de PCB est 1336-36-3.

5.2.4. - Les métaux

Les métaux cadmium, cuivre et plomb ne sont pas volatils à température ambiante. Ils sont peu mobiles dans les sols et ne sont pas solubles sous leur forme élémentaire.

5.2.4.1. - Le Cadmium

De nombreuses formes du cadmium sont toxiques ou cancérigènes : le cadmium élémentaire (CAS 7440-43-9), le chlorure de cadmium (CAS 10108-64-2), le sulfate de cadmium (CAS 10124-36-4), l'oxyde de cadmium (CAS 1306-19-0) et le sulfure de cadmium (CAS 1306-23-6) sont classés dans la catégorie 2, substances devant être assimilées à des substances cancérigènes pour l'homme.

Pour son caractère génotoxique, le sulfate de cadmium a été classé en catégorie 2 par l'Union Européenne, substance devant être assimilée à des substances mutagènes pour l'homme. Le cadmium élémentaire, le chlorure, le sulfate et le sulfure ont été classés en catégorie 3, substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes.

Le cadmium élémentaire est insoluble dans l'eau. La solubilité du chlorure de cadmium est de 1400 g/l, celle de l'oxyde de cadmium est de 5 mg/l et celle du sulfure de 1,3 mg/l.

5.2.4.2. - Le Cuivre

L'US EPA a classé les composés du cuivre dans la classe D : substances non classifiables quant à leur cancérogénicité pour l'homme.

L'Union Européenne a examiné le chlorure cuivreux (CAS 7558-89-6), l'oxyde cuivreux (CAS 1317-39-1) et le sulfate de cuivre (CAS 7558-98-7) mais ne les a pas classés cancérigènes, ni génotoxiques.

Le cuivre élémentaire (CAS 7440-50-8) et l'oxyde cuivreux sont insolubles dans l'eau. La solubilité du sulfate de cuivre est de 200 g/l. La solubilité de l'hydroxyde est de 2,5 mg/l.

5.2.4.3. - Le Plomb

Le CIRC a classé les chromates et arsénates de plomb dans le groupe 1, cancérigènes pour l'homme. Le plomb et ses dérivés inorganiques sont classés dans le groupe 2 (potentiellement cancérigènes pour l'homme). Les composés organiques ne peuvent être classés pour leur cancérogénicité pour l'homme.

Les composés du plomb ne sont pas classés génotoxique pour l'homme par la Commission Européenne. Les composés du plomb sont tous reprotoxiques.

Le plomb élémentaire (CAS 7439-92-1) et ses oxydes sont insolubles dans l'eau. La solubilité du carbonate de plomb (CAS 598-63-0) est de 1,1 mg/l, celle du sulfate de plomb (CAS 7446-14-2) atteint 42 mg/l. La solubilité de l'acétate de plomb (CAS 301-04-2) est de 443 g/l.

5.2.5. - Résumé des Propriétés physico-chimiques

Le tableau suivant récapitule les propriétés physico-chimiques des substances associées aux impacts.

Substance	N° CAS	Densité	Densité / air	Solubilité (mg/l)	Pression de vapeur (kPa)	Constante de Henry (Pa.m3/mol)	Masse molaire (g/mol)	Facteur convers. (mg/m3)
Naphtalène	91-20-3	1.16 (s)	4.42	31.8	0.007	48.9	128.2	5.24
Fluorène	86-73-7	1.181(s)	5.73	1.98	$4.2 \cdot 10^{-5}$	9.2	166.2	6.91
Phénanthrène	895-01-8	1.179(s)	6.15	1.2	$9.1 \cdot 10^{-4}$	2.9	178.23	7.41
Anthracène	120-12-7	1.28(s)	6.15	1.29	$< 1 \cdot 10^{-4}$	5.04	178.23	7.4
Fluoranthène	206-44-0	1.252(s)	6.98	0.26	$8 \cdot 10^{-6}$	0.8	202.26	8.4
Chrysène	218-01-9	1.274	7.9	0.002	$8.4 \cdot 10^{-8}$	0.1	228.3	9.49
Pyrène	129-00-0	1.271 (s)	6.98	0.13	$1.2 \cdot 10^{-5}$ à $6 \cdot 10^{-3}$	0.0011	202.26	8.41
Benzo(a)anthracène	56-55-3	1.25 (s)	-	-	-	-	-	-
Benzo(b)fluor.	205-99-2	nd	8.7	0.012	$6.7 \cdot 10^{-8}$	0.05	252.3	10.49
Benzo(k)fluor.	207-08-9	nd	8.7	$\frac{0.0007}{6}$	$7 \cdot 10^{-8}$	0.06	252.3	10.49
Benzo(a)pyrène	50-32-8	1.351 (s)	-	0.003	$7.3 \cdot 10^{-10}$	0.033	252.3	10.3
Indéno(1,2,3,cd)pyr.	193-39-5	nd	-	0.062	$1.3 \cdot 10^{-11}$	0.0024	-	-
Dibenzo(a,h)anthr.	53-70-3	1.282 (s)	9.6	0.005	$1.3 \cdot 10^{-11}$	0.0048	278.35	11.6
Benzo(g,h,i)pérylène	191-24-2	1.329	9.5	$\frac{0.0002}{6}$	$1.4 \cdot 10^{-11}$	0.027	276.3	11.49
Cuivre	7440-50-8	-	-	Insoluble	Très faible	-	-	-
Plomb	7439-92-1	-	-	Insoluble	Très faible	-	-	-
Cadmium	7440-43-9	8.65	-	Insoluble	Très faible	-	112.4	-
PCB	1336-36-3	≈ 1.5	9 - 13	0.01-0.2	0.01-0.5	20 - 40	250-375	10.96

Tableau récapitulatif des propriétés physico-chimiques

Substance	Solu- bilité (mg/l)	Pression de vapeur (kPa)	Constante de Henry (Pa.m ³ /mol)	Masse molaire (g/mol)
Hydrocarbures aliphatiques C8-C10	0.43	0.64	$2.03.10^{+5}$	130
Hydrocarbures aliphatiques C10-C12	0.034	0.065	$3.22.10^{+5}$	160
Hydrocarbures aliphatiques C12-C16	$7.6.10^{-4}$	0.0048	$1.34.10^{+6}$	200
Hydrocarbures aliphatiques C16-C35	$1.3.10^{-6}$	$7.7.10^{-3}$	$1.58.10^{+7}$	270
Hydrocarbures aromatiques C10-C12	25	0.064	347	130
Hydrocarbures aromatiques C12-C16	5.8	0.0048	134	150
Hydrocarbures aromatiques C16-C21	0.51	$7.7.10^{-3}$	32.2	190
Hydrocarbures aromatiques C21-C35	0.0066	$4.4.10^{-7}$	1.68	270

Tableau récapitulatif des propriétés physico-chimiques des familles d'hydrocarbures définies par le TPHCWG

5.2.6. - Les voies de transfert et les milieux d'exposition possibles

Il n'y a pas de relation directe entre les anomalies et le milieu eau superficielle. Le transfert vers les eaux superficielles peut s'effectuer via les eaux souterraines. Le milieu eaux superficielles n'est donc à retenir qu'en cas d'impact avéré sur le milieu de transfert (eaux souterraines) entre les sources de pollution et le milieu cible.

Les milieux d'exposition retenus sont les sols, les eaux souterraines, l'air du sol et l'air extérieur, et sous réserve de transfert possible, le milieu eau superficielle.

Il n'y a aujourd'hui aucun bâtiment sur l'emprise du site. Il est prévu d'y édifier des ateliers, une centrale électrique ainsi que des locaux à usage de bureau.

Le tableau suivant rappelle, pour les seuls milieux identifiés comme présentant des anomalies, les modes de transfert possibles en fonction des propriétés des substances associées.

Milieux impactés	Modes de transfert
Concentrations dans le sol	<ul style="list-style-type: none"> - réenvol des poussières de la surface du sol - lessivage des substances et infiltration vers les eaux souterraines - dispersion des composés volatils dans les gaz du sol puis l'air extérieur - intérieur - lavage par les eaux souterraines
Concentrations dans les eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> - transfert par convection vers l'aval - transfert convectif suivant la pente du substratum pour les plongeants - dégazage vers l'air du sol des substances volatiles sur le parcours

Modes de transfert possible des impacts

Concentrations dans le sol

Le réenvol des poussières concerne les premiers centimètres du sol. Il est possible sous l'effet du vent, en particulier par temps sec. La matrice du sol étant fine et pulvérulente, ce risque n'est pas négligeable.

Le lessivage par les eaux météoriques des concentrations du sol concerne tous les horizons, superficiels et profonds. Les substances solubles sont alors susceptibles d'être entraînées gravitairement vers les eaux souterraines qui n'ont aucun usage.

La pollution volatile peut se disperser dans les gaz du sous-sol, puis rejoindre l'air extérieur.

Le lavage par les eaux souterraines concerne les concentrations du sol situées dans la zone de marnage ou sous le niveau moyen des eaux souterraines.

Concentrations dans les eaux souterraines

Les concentrations dans les eaux souterraines peuvent être entraînées par convection, avec l'écoulement général des eaux souterraines, vers l'aval.

Les substances plus légères que l'eau (hydrocarbures) peuvent former une couche de surnageant susceptible de polluer les sols dans la zone de marnage et de se déplacer avec le sens d'écoulement général, mais aussi d'être détournée par les fondations pénétrant le niveau des eaux souterraines, ou piégée par des horizons semi-perméables pénétrant la zone de marnage. Ces derniers cas ne seront pas envisagés au droit du site car il n'accueille actuellement aucun bâtiment, et que le terrain est constitué de scories présentant une certaine homogénéité.

Les substances plus denses que l'eau (HAP, PCB) peuvent plonger jusqu'à rejoindre le substratum argileux. Dans certains cas, la migration de la pollution peut alors se faire suivant la pente du substratum.

Les substances volatiles peuvent dégazer au cours du mouvement convectif et se libérer dans les gaz du sol.

Les milieux d'exposition retenus sont les sols, les eaux souterraines, l'air du sol et l'air extérieur.

5.2.7. - Inventaire des cibles

L'usage du site est un usage industriel et est appelé à le rester. La population du site est une population de travailleurs adultes. Il n'y a pas de zone résidentielle à moins de 200 m du site.

L'eau souterraine est une eau saumâtre, sans usage.

Les cibles identifiées sont :

- le personnel évoluant sur le site (travailleurs adultes),
- le milieu eau superficielle (anse Undu).

5.2.8. - Voies d'exposition

Exposition à partir des concentrations dans les sols

Il n'y a exposition directe possible de la population aux sols par contact cutané ou ingestion de sols ou de poussières que pour les concentrations présentes dans les sols superficiels. Ces voies d'exposition ne sont pas pertinentes pour les sols profonds.

Il peut y avoir infiltration vers les eaux souterraines mais celle-ci n'a pas d'usage.

Il peut y avoir volatilisation des substances volatiles du sol et dispersion dans l'air du sous-sol, puis l'air extérieur ou intérieur. Il y a donc risque d'exposition par inhalation de vapeurs.

Exposition à partir des concentrations dans les eaux souterraines

Il n'y a pas d'usage des eaux souterraines, donc pas d'exposition directe possible avec ce milieu. Cependant du fait du mouvement d'écoulement de l'eau souterraine et des propriétés des substances en jeu, il peut y avoir :

- transfert vers les eaux superficielles puis exposition par contact direct ou ingestion des eaux superficielles,
- dégazage des substances volatiles le long de l'écoulement des eaux souterraines, avec dispersion dans l'air du sous-sol, puis l'air extérieur ou intérieur.

Concernant le transfert vers le milieu eaux superficielles, il convient de distinguer les substances selon leurs propriétés physiques. Les substances solubles migreront suivant la direction de l'écoulement souterrain. Celui-ci est rappelé en figure suivante, et est représenté par les flèches bleues.

Les substances peu solubles et moins denses que l'eau formeront un film ou une couche sur les eaux souterraines, et du fait de l'absence de fondation et de la relative homogénéité du terrain constitué de scories (absence de couche semi-perméable), ces substances s'écouleront également suivant la direction de l'écoulement.

Les substances peu solubles et plus denses que l'eau plongeront dans l'aquifère, et, suivant les conditions, elles pourront migrer soit suivant la direction de l'écoulement général, soit suivant la pente du substratum (argiles vasardes). Cette dernière est présentée sur la figure suivante par des flèches rouges.



Directions d'écoulement des eaux souterraines au 18 mars 2015 (bleu) et pente du substratum argileux (rouge)

Nous constatons que l'écoulement des eaux souterraines se fait vers le nord-ouest en longeant la cote avant de se diriger vers l'anse, sauf pour la bande située au plus près de l'anse où l'écoulement se fait directement vers l'anse. Les piézomètres PZ4 et PZ9 se situent donc en aval de l'écoulement pour les zones impactées par les PCB et les hydrocarbures, PZ1 et PZ2 se situent en aval du parc à ferrailles.

Concernant l'écoulement des substances denses, nous constatons que la pente du substratum depuis les zones impactées par les PCB et les hydrocarbures se fait vers PZ9 puis PZ3, puis l'ensemble du site industriel avant de rejoindre la mer. Dans le détail, il apparaît que PZ9 n'a pas atteint le substratum argileux à la profondeur de 10 m alors que l'ouvrage voisin PZ4 l'a atteint à la profondeur de 6,5 m à partir du sol. Le substratum argileux ne se présente donc pas sous un aspect plan, mais est bosselé, ce qui signifie que d'éventuelles substances plongeantes qui se seraient infiltrées seraient très vraisemblablement piégées dans ces dépressions de substratum. Par ailleurs, les PCB n'ont été détectés ni sur PZ3, ni sur PZ4, ni sur PZ9. On peut en déduire qu'il n'y a aujourd'hui aucune migration de la pollution aux PCB suivant la pente du substratum. Concernant les HAP, ils n'ont pas été détectés sur PZ3, mais sur PZ1, PZ4, PZ9 et PZ10 en concentrations conformes à la qualité d'une eau brute destinée à la production d'eau potable.

La campagne d'octobre 2015 réalisée sur des piézomètres définitifs implantés pour surveiller les effets de la future centrale C sur la qualité des eaux souterraines a permis de mettre en évidence l'absence de COHV, de PCB, d'hydrocarbures et d'HAP (mis à part l'acénaphène détecté en concentrations traces) en aval hydraulique du site.

En particulier, l'absence de COHV dans les eaux souterraines permet de conclure que ces substances très volatiles ne sont pas problématiques pour le site.

On en déduit qu'il n'y a pas de migration vers la mer des substances plongeantes (en particulier COHV et PCB) suivant la pente du substratum.

Concernant la migration des substances solubles avec le mouvement convectif des eaux souterraines, il s'avère que les PCB, ne sont pas détectés sur PZ4, PZ9, PZ10 et PZ11 qui sont situés en aval hydraulique de la zone d'impact aux PCB. Il n'y a donc pas de transfert de ces substances par les eaux souterraines vers les eaux superficielles. Cette information est confirmée par les résultats obtenus sur les piézomètres définitifs implantés en septembre 2015.

Concernant les hydrocarbures et HAP, leurs concentrations sont conformes aux valeurs limites fixées pour des eaux brutes destinées à la production d'eau potable. Ces niveaux de concentration ne constituent pas des risques en cas de transfert vers le milieu marin.

Nous ne retiendrons donc pas le milieu eaux superficielles comme milieu d'exposition pour le site du projet de la Centrale C.

Le tableau suivant récapitule pour les milieux impactés, les voies de transfert et milieux d'exposition possibles des cibles, les voies d'exposition retenues comme étant pertinentes.

Milieux impactés	Voies de transfert	Milieux d'exposition des cibles	Voie d'exposition	Voies pertinentes
Concentrations dans le sol	Sols en place	Sols	Contact cutané, ingestion de sols et de poussières Inhalation de poussières	OUI
	Lessivage, Infiltration	Eau souterraine	-	NON
	Volatilisation	Air du sous-sol / Air extérieur - intérieur	Inhalation	OUI
Concentrations dans les eaux souterraines	Convection	Eaux superficielles	Contact cutané Ingestion	NON
	Volatilisation	Air du sous-sol / Air extérieur - intérieur	Inhalation	OUI

Voies d'exposition pertinentes

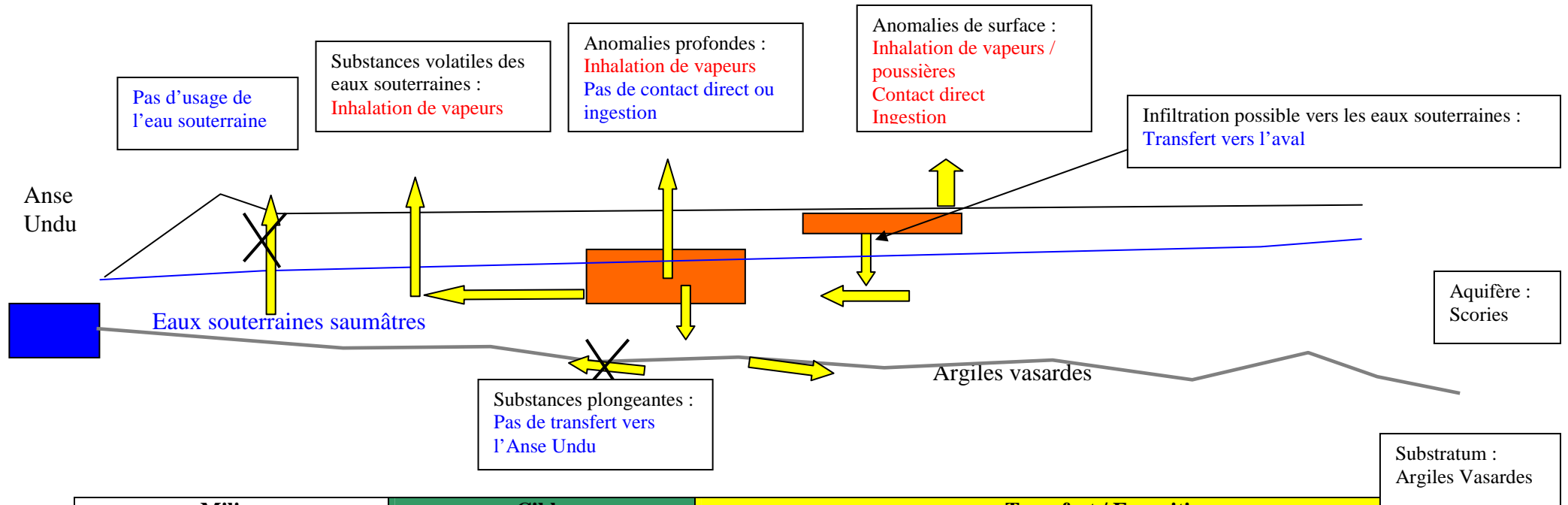
5.2.9. - Modes d'exposition et schéma conceptuel

De ce qui précède, on peut déduire les modes d'exposition suivants sur le site de la future centrale :

- exposition par contact cutané des sols en place,
- exposition par ingestion de sols ou poussières du sol,
- inhalation de poussières du sol,
- inhalation de vapeurs provenant des sols ou des eaux souterraines en air extérieur,
- inhalation de vapeurs provenant des sols ou des eaux souterraines en air intérieur (scénario futur).

Le schéma conceptuel est représenté schématiquement en figure suivante.

SCHEMA CONCEPTUEL DU SITE SLN – DONIAMBO



Milieu	Cible	Transfert / Exposition
Sols de surface du site	Travailleurs avertis	Contacts direct et ingestion possibles inhalation possible : vapeurs et poussières
Sols profonds	Travailleurs avertis	Inhalation possible de vapeurs Pas de contacts directs ou ingestion ou inhalation de poussières
Sols de surface ou profonds	Eau souterraine	Transfert possible par lessivage ou infiltration
Eau souterraine	Pas d'usage de l'eau souterraine	
Eau souterraine	Travailleurs avertis	Transfert possible vers l'aval avec dégazage des substances volatiles puis inhalation des vapeurs
Eau souterraine	Eaux superficielles	Transfert vers l'Anse Undu possible par écoulement souterrain possible pour les solubles
Eau souterraine	Eaux superficielles	Pas de transfert gravitaire vers l'Anse Undu pour les plongeants

5.2.10. - Valeurs toxicologiques de référence

5.2.10.1. - Choix des VTR

Un tableau récapitulatif des VTR retenues pour l'ensemble de ces composés est présenté ci-après, en distinguant les voies d'exposition (inhalation et ingestion), et les substances cancérigènes des autres.

Le choix des VTR a été réalisé selon une approche de premier niveau parmi les valeurs de référence des 8 bases suivantes : Anses, US EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHHA, EFSA. Les trois cas qui peuvent se présenter sont les suivants :

- aucune valeur toxicologique de référence n'est recensée pour une substance chimique dans l'une des 8 bases mentionnées ci-dessus,
- une seule VTR existe dans l'une des 8 bases,
- plusieurs VTR existent pour un même effet critique, une même voie et une même durée d'exposition.

Conformément à la note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des VTR, le choix des VTR a été effectué de la façon suivante :

- en cas d'absence de VTR dans l'une des 8 bases officielles, la quantification du risque n'est pas envisageable, aucune VTR provenant d'autre source ne sera proposée ;
- si une seule VTR est disponible, elle sera utilisée s'il ne s'agit pas d'une valeur provisoire d'avant projet (draft) qu'elle correspond à la durée et à la voie d'exposition auxquelles la population est confrontée ;
- si plusieurs VTR existent pour un même effet risque, une même voie et une même durée d'exposition, la substance est sélectionnée dans la première base dans laquelle elle est retrouvée en respectant la hiérarchisation suivante :
 - o prioritairement les VTR de l'Anses ou d'une expertise nationale (INERIS),
 - o les VTR provenant de l'US EPA, ATSDR, OMS,
 - o à défaut, les VTR provenant de santé Canada, RIVM, OEHHHA, EFSA.

Le choix des VTR s'est effectué en s'appuyant sur le rapport d'étude de l'Ineris référencé DRC 08-94380-11776C du 17 mars 2009 et intitulé « Point sur les valeurs toxicologiques de référence (VTR) – mars 2009 ». Ces valeurs ont été vérifiées sur le site internet « Furetox » de l'institut de veille sanitaire.

Aucune VTR n'a été définie dans les bases officielles pour les hydrocarbures totaux. Or il apparaît que dans le cadre du site du projet de centrale, les hydrocarbures sont localement présents en concentrations significatives et il est vraisemblable que ces concentrations ne pourront pas être totalement éliminées. Il conviendra donc de mettre en place des méthodes de gestion et de s'assurer que le risque lié à l'exposition aux sources résiduelles soit acceptable. Pour évaluer quantitativement le risque lié aux hydrocarbures, il est proposé d'utiliser les valeurs toxicologiques de référence proposées par le TPHCWG. Ces valeurs ont été retenues par le BRGM en 2010 pour les « diagnostics dans les établissements accueillant du public » et par l'INERIS en 2012 pour le rapport sur la réutilisation des terres excavées sur des projets d'aménagement (DRC-11-115732-09274C). Il s'agit là d'expertises collectives nationales.

5.2.10.2. - Substances à effet de seuil, exposition par inhalation

N° CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/m3)	Facteur d'incertitude	Année	Organisme
91-20-3	Naphtalène	RfC = 0,003	3000	1998	US EPA
208-96-8	Acénaphthylène				
86-73-7	Fluorène				
895-01-8	Phénanthrène				
120-12-7	Anthracène				
206-44-0	Fluoranthène				
218-01-9	Chrysène				
129-00-0	Pyrène				
56-55-3	Benzo(a)anthracène				
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène				
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène				
50-32-8	Benzo(a)pyrène				
193-39-5	Indéno(1,2,3,cd)pyrène				
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène				
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène				
7440-50-8	Cuivre	TCA = 0.001	600	2001	US EPA
7439-92-1	Plomb				
7440-43-9	Cadmium	VG = 0.0005		2000	OMS
1336-36-3	PCB	CTA = 0.5E-3		2001	RIVM

Valeurs toxicologiques de référence pour les substances associées aux anomalies du site – Inhalation à seuil

Les valeurs toxicologiques de référence présentées ci-dessus ont été déterminées pour une exposition chronique.

Aucune VTR n'a été définie pour les hydrocarbures dans les bases US EPA, ATSDR, OMS, Santé Canada, RIVM, OEHHA. Les valeurs toxicologiques de référence proposées par le TPHCWG pour les hydrocarbures sont présentées dans le tableau suivant.

Substances non cancérigènes	VTR (mg/m3)	Facteur d'incertitude	Année	Organisme
HC Aliphatique nC8-nC16	RfC = 1	1000	1997	TPHCWG
HC Aliphatique nC16-nC35				
HC Aliphatique > nC35				
HC Aromatique nC8-nC16	RfC = 0.2	1000	1997	TPHCWG
HC Aromatique nC16-nC35				

VTR du TPHCWG pour les hydrocarbures– Inhalation à seuil

5.2.10.3. - Substances à effet de seuil, exposition par ingestion

N° CAS	Substances non cancérogènes	VTR (mg/kg/j)	Facteur d'incertitude	Année	Organisme
91-20-3	Naphtalène	RfD = 2.10-2	3000	1998	US EPA
83-22-9	Acénaphène	RfD = 0.06	3000	1994	US EPA
86-73-7	Fluorène	RfD = 0.04	3000	1990	US EPA
895-01-8	Phénanthrène	TDI = 0.04	100	2001	RIVM
120-12-7	Anthracène	RfD = 0,3	3000	1993	US EPA
206-44-0	Fluoranthène	RfD = 0.04	3000	1993	US EPA
218-01-9	Chrysène				
129-00-0	Pyrène	RfD = 0.03	3000	1993	US EPA
56-55-3	Benzo(a)anthracène				
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène				
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène				
50-32-8	Benzo(a)pyrène				
193-39-5	Indéno(1,2,3,cd)pyrène				
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène				
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène	TDI = 0.03	ND	2001	RIVM
7440-50-8	Cuivre	TDI = 0.14	30	2001	RIVM
7439-92-1	Plomb	TDI = 3.6.10-3	ND	2001	RIVM
7440-43-9	Cadmium	TDI = 5.10-4		2003	OEHHA
1336-36-3	PCB	RfD = 2.10-5		2000	ATSDR

Valeurs toxicologiques de référence pour les substances associées aux anomalies du site – Ingestion à seuil

Les valeurs toxicologiques de référence présentées ci-dessus ont été déterminées pour une exposition chronique.

Les TDI proposés par le RIVM ont été élaborés pour un ensemble de HAP (fractions de HAP non cancérogènes présents dans le pétrole et comportant entre 10 et 16 carbones ou entre 17 et 35 carbones) et non pour un HAP spécifique. Il s'agit de la seule VTR disponible pour le benzo(g,h,i)pérylène pour l'exposition orale. Nous avons choisi de retenir cette valeur du fait de l'origine pétrolière possible des HAP.

Aucune VTR n'a été définie pour les hydrocarbures dans les bases Anses, US EPA, ATSDR, OMS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA. Les valeurs toxicologiques de référence proposées par le TPHCWG pour les hydrocarbures sont présentées dans le tableau suivant.

Substances non cancérogènes	VTR (mg/kg/j)	Facteur d'incertitude	Année	Organisme
HC Aliphatique nC8-nC16	RfD = 0.1	1000	1997	TPHCWG
HC Aliphatique nC16-nC35	RfD = 2	100		
HC Aliphatique > nC35	RfD = 20	100		
HC Aromatique nC8-nC16	RfD = 0.04	10000	1997	TPHCWG
HC Aromatique nC16-nC35	RfD = 0.03	3000		

VTR du TPHCWG pour les hydrocarbures – Ingestion à seuil

5.2.10.4. - Substances sans effet de seuil, exposition par inhalation

N° CAS	Substances cancérogènes	VTR (µg/m3)-1	Année	Organisme
91-20-3	Naphtalène	ERU = 1.1.10-6	2005	OEHHA
208-96-8	Acénaphthylène	ERU = 1.1.10-6	2005	OEHHA
86-73-7	Fluorène	ERU = 1.1.10-6	2005	OEHHA
895-01-8	Phénanthrène	ERU = 1.1.10-6	2005	OEHHA
120-12-7	Anthracène	ERU = 1.1.10-5	2005	OEHHA
206-44-0	Fluoranthène	ERU = 1.1.10-6	2005	OEHHA
218-01-9	Chrysène	ERU = 1.1.10-5	2005	OEHHA
129-00-0	Pyrène	ERU = 1.1.10-6	2005	OEHHA
56-55-3	Benzo(a)anthracène	ERU = 1.1.10-4	2005	OEHHA
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	ERU = 1.1.10-4	2005	OEHHA
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	ERU = 1.1.10-4	2005	OEHHA
50-32-8	Benzo(a)pyrène	ERU = 1.1.10-3	2005	OEHHA
193-39-5	Indéno(1,2,3,cd)pyrène	ERU = 1.1.10-4	2005	OEHHA
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène	ERU = 1.2.10-3	2005	OEHHA
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène	ERU = 1.1.10-5	2005	OEHHA
7440-50-8	Cuivre			
7439-92-1	Plomb	ERU = 1,2.10-5	2005	OEHHA
7440-43-9	Cadmium	ERU = 4.2.10-3	2002	OEHHA
1336-36-3	PCB	ERU = 1.10-4	1997	USEPA

Valeurs toxicologiques de référence pour les substances associées aux anomalies du site – Inhalation sans seuil

Les valeurs toxicologiques de référence présentées ci-dessus ont été déterminées pour une exposition chronique. Les VTR des HAP sont dérivées de celle du benzo(a)pyrène selon les facteurs d'équivalence toxique.

Aucune valeur toxicologique de référence n'est disponible pour les hydrocarbures.

5.2.10.5. - Substances sans effet de seuil, exposition par ingestion

N° CAS	Substances cancérogènes	VTR (mg/kg/j)-1	Année	Organisme
91-20-3	Naphtalène	ERU = 1,2.10 ⁻¹	2005	OEHHA
208-96-8	Acénaphthylène			
86-73-7	Fluorène			
895-01-8	Phénanthrène			
120-12-7	Anthracène			
206-44-0	Fluoranthène	CR = 5.10 ⁻²	2001	RIVM
218-01-9	Chrysène	ERU = 1,2.10 ⁻¹	2005	OEHHA
129-00-0	Pyrène	CR = 0.5	2001	RIVM
56-55-3	Benzo(a)anthracène			
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	ERU = 1.2	2005	OEHHA
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	ERU = 1.2	2005	OEHHA
50-32-8	Benzo(a)pyrène	ERU = 7.3	1994	USEPA
193-39-5	Indéno(1,2,3,cd)pyrène	ERU = 1.2	2005	OEHHA
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène	ERU = 4.1	2005	US EPA
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène			
7440-50-8	Cuivre			
7439-92-1	Plomb	ERU = 8,5.10 ⁻³	2005	OEHHA
7440-43-9	Cadmium			
1336-36-3	PCB	ERU = 0.4	1997	USEPA

Valeurs toxicologiques de référence pour les substances associées aux anomalies du site – Ingestion sans seuil

Les valeurs toxicologiques de référence présentées ci-dessus ont été déterminées pour une exposition chronique. Aucune valeur toxicologique de référence n'est disponible pour les hydrocarbures.

5.2.10.6. - Substances disposant d'une VTR

Le tableau suivant présente pour les substances pour lesquelles une VTR est définie.

N° CAS	Substances	VTR ingest. A seuil	VTR ingest. Sans seuil	VTR inhal. A seuil	VTR inhal. Sans seuil
91-20-3	Naphtalène	X	X	X	X
86-73-7	Fluorène	X			X
895-01-8	Phénanthrène	X			X
120-12-7	Anthracène	X			X
206-44-0	Fluoranthène	X	X		X
218-01-9	Chrysène		X		X
129-00-0	Pyrène	X	X		X
56-55-3	Benzo(a)anthracène				X
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène		X		X
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène		X		X
50-32-8	Benzo(a)pyrène		X		X
193-39-5	Indéno(1,2,3,cd)pyrène		X		X
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène		X		X
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène	X			X
7440-50-8	Cuivre	X		X	
7439-92-1	Plomb	X	X		X
7440-43-9	Cadmium	X		X	X
1336-36-3	PCB	X	X	X	X
	Hydrocarbures totaux / TPHCWG	X		X	

5.3. - HIERARCHISATION DES ANOMALIES

5.3.1. - Objectif de la hiérarchisation

Le diagnostic de la qualité des sols a mis en évidence la présence d'anomalies sur la zone d'étude. Ces anomalies peuvent être :

- locales ou étendues,
- superficielles ou/et profondes,
- associées à une ou plusieurs substances,
- présenter des niveaux de concentration modérés ou élevés.

Il apparaît clairement que les anomalies identifiées sur ce site présentent des origines distinctes (parc à ferrailles, parc à boues, activités historique, stockages, qualité des remblais).

En vue de l'élaboration du plan de gestion, il semble de bon sens de décrire individuellement les anomalies du site en termes d'extension et de risques, pour justifier ultérieurement les mesures simples de gestion que prévoit la méthodologie nationale. La description individuelle de ces anomalies a donc pour objectifs :

- d'identifier celles qui doivent faire l'objet d'une intervention du fait du dépassement des valeurs de gestion réglementaires
- d'identifier celles qui doivent faire l'objet d'une intervention du fait de leurs impacts suspectés sur d'autres milieux ou hors du site
- d'identifier celles qui doivent faire l'objet d'une intervention du fait de la présence de pollutions concentrées
- d'identifier celles qui sont de second ordre et ne seront à considérer que pour la prise en compte globale du risque sanitaire.

5.3.2. - Rappel des anomalies identifiées

Les anomalies qui ont été identifiées concernent des métaux ainsi que des composés organiques.

Les anomalies en métaux concernent notamment :

1. le cadmium avec une anomalie ponctuelle à 7 mg/kg dans le parc à ferrailles, les autres anomalies présentent des concentrations deux fois moins élevées
2. le cuivre avec une anomalie ponctuelle à 600 mg/kg dans le parc à ferrailles, les autres anomalies présentent des concentrations deux fois moins élevées
3. le plomb qui présente une anomalie sur l'ensemble du parc à ferrailles à un niveau de concentration qui se situe entre 400 et 630 mg/kg.

Concernant les composés organiques, on constate :

4. une anomalie ponctuelle en HAP au sud du parc à boues, en surface du sol ; la concentration mesurée est de 77 mg/kg pour la somme des 16 HAP,
5. des anomalies en hydrocarbures totaux ponctuelles et superficielles dans le parc à ferrailles avec des concentrations qui atteignent 8600 mg/kg
6. des anomalies en hydrocarbures totaux ponctuelles et profondes à l'ouest du parc à boues, avec une concentration de 6300 mg/kg
7. des anomalies en hydrocarbures totaux dans le parc à boues avec une concentration pouvant atteindre 21 000 mg/kg en surface, et 11 000 mg/kg en profondeur.

8. des anomalies en hydrocarbures totaux étendues, en superficie et en profondeur au sud du parc à boues avec des concentrations supérieures à 20 000 mg/kg
9. des anomalies en PCB de faibles extensions autour de quatre points avec une concentration maximale mesurée de 470 mg/kg.

Un impact est constaté sur le milieu eaux souterraines pour les hydrocarbures, avec présence de phase flottante, mais les PCB ne sont pas détectés dans ce milieu.

5.3.2.1. - Anomalies en cadmium

Dans les sols superficiels, la concentration maximale mesurée en cadmium est de 7 mg/kg. Elle est de 1,8 mg/kg dans les sols profonds. La valeur de référence retenue est la limite de quantification à 0,5 mg/kg. Le cadmium n'est ni volatil, ni soluble, les sols profonds ne posent donc en principe pas de risque sanitaire tant que les sols sont en place.

Le risque sanitaire par ingestion lié au seul cadmium peut être calculé à partir des VTR disponibles pour un scénario d'exposition professionnel (voir chapitre 7). Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants pour les effets avec seuil, le cadmium n'est pas concerné par les effets sans seuil.

N°CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/kg/j)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	QD
7440-43-9	Cadmium	0.0005	7	3.29E-06	6.58E-03
SOMME QD :					6.58E-03

Quotient de danger lié à l'exposition au cadmium par ingestion

Il apparaît que le quotient de danger lié au seul cadmium est de 0,0066, très inférieur à 1 qui constitue la limite acceptable pour l'ensemble des substances agissant sur un même organe cible. On en déduit que le niveau de concentration rencontré sur le site n'est pas de nature à rendre le site incompatible avec l'usage prévu. Nous considérerons dans cette première approche que les concentrations en cadmium sont d'importance secondaire.

5.3.2.2. - Anomalies en cuivre

Dans les sols superficiels, la concentration maximale mesurée en cuivre est de 600 mg/kg. Elle est de 480 mg/kg dans les sols profonds. La valeur de référence retenue est de 35 mg/kg. Le cuivre n'est ni volatil, ni soluble, les sols profonds ne posent donc en principe pas de risque sanitaire tant que les sols sont en place.

Le risque sanitaire par ingestion lié au seul cuivre peut être calculé à partir des VTR disponibles pour un scénario d'exposition professionnel (voir chapitre 7). Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants pour les effets avec seuil, le cuivre n'est pas concerné par les effets sans seuil.

N°CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/kg/j)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	QD
7440-50-8	Cuivre	0.14	600	2.82E-04	2.01E-03
SOMME QD :					2.01E-03

Quotient de danger lié à l'exposition au cuivre par ingestion

Il apparaît que le quotient de danger lié au seul cuivre est de 0,002, très inférieur à 1 qui constitue la limite acceptable pour l'ensemble des substances agissant sur un même organe cible. On en déduit que le niveau de concentration rencontré sur le site n'est pas de nature à rendre le site incompatible avec l'usage prévu. Nous considérerons dans cette première approche que les concentrations en cuivre sont d'importance secondaire.

5.3.2.3. - Anomalies en plomb

Dans les sols superficiels, la concentration maximale mesurée en plomb est de 630 mg/kg. Elle est de 290 mg/kg dans les sols profonds. La valeur de référence retenue est de 29 mg/kg.

Le plomb n'est ni volatil, ni soluble, les sols profonds ne posent donc en principe pas de risque sanitaire tant que les sols sont en place.

Le risque sanitaire par ingestion lié au seul plomb peut être calculé à partir des VTR disponibles pour un scénario d'exposition professionnel (voir chapitre 7). Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants pour les effets avec seuil, le plomb n'est pas concerné par les effets sans seuil.

N°CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/kg/j)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	QD
7439-92-1	Plomb	0.0036	630	2.96E-04	8.22E-02
SOMME QD :					8.22E-02

Quotient de danger lié à l'exposition au plomb par ingestion

Il apparaît que le quotient de danger lié au seul plomb est de 0,082, très inférieur à 1 qui constitue la limite acceptable pour l'ensemble des substances agissant sur un même organe cible. On en déduit que le niveau de concentration rencontré sur le site n'est pas de nature à rendre le site incompatible avec l'usage prévu. Nous considérerons dans cette première approche que les concentrations en plomb restent d'importance secondaire, mais ne sont pas négligeables. Le risque par inhalation de poussières devra également être évalué dans le cas du plomb.

5.3.2.4. - Anomalies en HAP

Dans les sols superficiels, la concentration maximale mesurée en HAP est de 77 mg/kg. Elle est de 4.8 mg/kg dans les sols profonds. Les HAP ne devraient pas être détectés sur le site.

Le naphtalène est le plus soluble et le plus volatil des HAP. Il n'est toutefois pas détecté en surface du site, et sa concentration maximale reste inférieure à 1 mg/kg en profondeur

Le risque sanitaire par ingestion lié aux HAP présents en surface du sol peut être calculé à partir des VTR disponibles pour un scénario d'exposition professionnel (voir chapitre 7). Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants pour les effets avec et sans seuil.

Ces deux tableaux indiquent que le quotient de danger QD est faible à 0,00047, mais que l'excès de risque individuel n'est pas acceptable à $1.93.10^{-5}$ pour une limite fixée à $1.0.10^{-5}$ pour toutes les substances sans seuil, quel que soit l'organe cible, et pour toutes les voies d'exposition.

La pollution de surface aux HAP du parc à boues est donc à qualifier de préoccupante.

N°CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/kg/j)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	QD
91-20-3	Naphtalène	0.02	0	0.00E+00	0.00E+00
83-32-9	Acénaphthène	0.06	0	0.00E+00	0.00E+00
86-73-7	Fluorène	0.04	0	0.00E+00	0.00E+00
85-01-8	Phénanthrène	0.04	6.3	2.96E-06	7.40E-05
120-12-7	Anthracène	0.3	3.19	1.50E-06	4.99E-06
206-44-0	Fluoranthène	0.04	16	7.51E-06	1.88E-04
218-01-9	Chrysène		5.7	2.68E-06	
129-00-0	Pyrène	0.03	13	6.11E-06	2.04E-04
56-55-3	Benzo(a)anthracène		7.1	3.33E-06	
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène		7.2	3.38E-06	
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène		3.3	1.55E-06	
50-32-8	Benzo(a)pyrène		5.3	2.49E-06	
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)pyrène		3.5	1.64E-06	
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène		0	0.00E+00	
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène		3.4	1.60E-06	
SOMME QD :					4.70E-04

Quotient de danger lié à l'exposition aux HAP par ingestion – zone la plus impactée

N°CAS	Substances cancérogènes	VTR (mg/kg/j) ⁻¹	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	ERI
91-20-3	Naphtalène	0.12	0	0.00E+00	0.00E+00
83-32-9	Acénaphthène	0.5	0	0.00E+00	0.00E+00
86-73-7	Fluorène		0	0.00E+00	0.00E+00
85-01-8	Phénanthrène		6.3	1.69E-06	0.00E+00
120-12-7	Anthracène		3.19	8.56E-07	0.00E+00
206-44-0	Fluoranthène	0.05	16	4.29E-06	2.15E-07
218-01-9	Chrysène	0.12	5.7	1.53E-06	1.84E-07
129-00-0	Pyrène	0.5	13	3.49E-06	1.74E-06
56-55-3	Benzo(a)anthracène	1.2	7.1	1.91E-06	2.29E-06
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	1.2	7.2	1.93E-06	2.32E-06
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	1.2	3.3	8.86E-07	1.06E-06
50-32-8	Benzo(a)pyrène	7.3	5.3	1.42E-06	1.04E-05
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	1.2	3.5	9.39E-07	1.13E-06
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène	4.1	0	0.00E+00	0.00E+00
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène		3.4	9.12E-07	0.00E+00
ERI Total					1.93E-05

Excès de Risque Individuel lié à l'exposition aux HAP par ingestion – zone la plus impactée

Les tableaux suivants présentent le calcul du risque pour la zone superficielle présentant les seconds niveaux les plus élevés de concentrations en HAP du site, pour laquelle la somme des 16 congénères atteint 3,6 mg/kg.

N°CAS	Substances non cancérogènes	VTR (mg/kg/j)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	QD
91-20-3	Naphtalène	0.02	0	0.00E+00	0.00E+00
83-32-9	Acénaphthène	0.06	0	0.00E+00	0.00E+00
86-73-7	Fluorène	0.04	0	0.00E+00	0.00E+00
85-01-8	Phénanthrène	0.04	0.13	6.11E-08	1.53E-06
120-12-7	Anthracène	0.3	0.16	7.51E-08	2.50E-07
206-44-0	Fluoranthène	0.04	0.36	1.69E-07	4.23E-06
218-01-9	Chrysène		0.28	1.32E-07	
129-00-0	Pyrène	0.03	0.33	1.55E-07	5.17E-06
56-55-3	Benzo(a)anthracène		0.3	1.41E-07	
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène		0.62	2.91E-07	
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène		0.28	1.32E-07	
50-32-8	Benzo(a)pyrène		0.38	1.78E-07	
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)pyrène		0.27	1.27E-07	
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène		0	0.00E+00	
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène		0.29	1.36E-07	
SOMME QD :					1.12E-05

Quotient de danger lié à l'exposition aux HAP par ingestion – 2^{ème} zone la plus impactée

N°CAS	Substances cancérogènes	VTR (mg/kg/j) ⁻¹	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	ERI
91-20-3	Naphtalène	0.12	0	0.00E+00	0.00E+00
83-32-9	Acénaphthène	0.5	0	0.00E+00	0.00E+00
86-73-7	Fluorène		0	0.00E+00	0.00E+00
85-01-8	Phénanthrène		0.13	3.49E-08	0.00E+00
120-12-7	Anthracène		0.16	4.29E-08	0.00E+00
206-44-0	Fluoranthène	0.05	0.36	9.66E-08	4.83E-09
218-01-9	Chrysène	0.12	0.28	7.51E-08	9.02E-09
129-00-0	Pyrène	0.5	0.33	8.86E-08	4.43E-08
56-55-3	Benzo(a)anthracène	1.2	0.3	8.05E-08	9.66E-08
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	1.2	0.62	1.66E-07	2.00E-07
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	1.2	0.28	7.51E-08	9.02E-08
50-32-8	Benzo(a)pyrène	7.3	0.38	1.02E-07	7.44E-07
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	1.2	0.27	7.25E-08	8.70E-08
53-70-3	Dibenzo(a,h)anthracène	4.1	0	0.00E+00	0.00E+00
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène		0.29	7.78E-08	0.00E+00
ERI Total					1.28E-06

Excès de Risque Individuel lié à l'exposition aux HAP par ingestion – 2^{ème} zone la plus impactée

Nous constatons que l'anomalie en HAP à 3,6 mg/kg reste acceptable, bien que non négligeable avec un ERI de $0,13 \cdot 10^{-5}$ pour une limite fixée à $1 \cdot 10^{-5}$.

5.3.2.5. - Anomalies ponctuelles superficielles en hydrocarbures totaux du parc à ferrailles

Dans les sols superficiels du parc à ferrailles, la concentration maximale mesurée en hydrocarbures totaux est de 8600 mg/kg. Elle est inférieure à 500 mg/kg dans les sols profonds. Les hydrocarbures ne devraient pas être détectés sur le site.

La solubilité et la volatilité des hydrocarbures dépendent de la coupe pétrolière considérée. Le profil des hydrocarbures correspond au profil type d'une huile. Les coupes les plus solubles et les plus volatiles sont les moins représentées, mais elles sont tout de même présentes. Les piézomètres disposés autour du site indiquent que l'impact sur les eaux souterraines reste compatible avec les limites de gestion existantes.

Le risque sanitaire par ingestion lié aux hydrocarbures présents en surface du sol peut être calculé pour un scénario d'exposition professionnel (voir chapitre 7) à partir des VTR proposés par le TPHCWG. Pour cela la concentration de 8600 mg/kg mesurée en C10-C40 est transposée dans les familles définies par le TPHCWG conformément au tableau présenté en §3.1.1. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants pour les effets à seuil. Aucun effet sans seuil n'est retenu pour les hydrocarbures.

TYPE	Substances non cancérigènes	VTR (mg/kg/j)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	QD
Hydrocarbures aliphatiques	C>8 – C10	0.1	8.6	4.04E-06	4.04E-05
	C>10 – C12	0.1	25.8	1.21E-05	1.21E-04
	C>12 – C16	0.1	1376	6.46E-04	6.46E-03
	C>16 – C35	2	6020	2.83E-03	1.41E-03
Hydrocarbures aromatiques	C>8 – C10	0.04	8.6	4.04E-06	1.01E-04
	C>10 – C12	0.04	8.6	4.04E-06	1.01E-04
	C>12 – C16	0.04	60.2	2.83E-05	7.07E-04
	C>16 – C21	0.03	688	3.23E-04	1.08E-02
	C>21 – C35	0.03	395.6	1.86E-04	6.19E-03
SOMME QD :					2.59E-02

Quotient de danger lié à l'exposition par ingestion aux Hydrocarbures – zone à 8600 ppm

Il apparaît que le quotient de danger lié aux seuls hydrocarbures est de 0,026, très inférieur à 1 qui constitue la limite acceptable pour l'ensemble des substances agissant sur un même organe cible. On en déduit que ce niveau de concentration rencontré sur le site n'est pas de nature à rendre le site incompatible avec l'usage prévu pour la voie d'exposition par ingestion.

Si le quotient de danger avait simplement été calculé à partir de la coupe aliphatique déterminée au laboratoire, le résultat aurait été le suivant :

TYPE	Substances non cancérigènes	VTR (mg/kg/j)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	QD
Hydrocarbures aliphatiques	C>8 – C10	0.1	0	0.00E+00	0.00E+00
	C>10 – C12	0.1	50	2.35E-05	2.35E-04
	C>12 – C16	0.1	50	2.35E-05	2.35E-04
	C>16 – C35	2	7160	3.36E-03	1.68E-03
	C>35	20	1500	7.05E-04	3.52E-05
SOMME QD :					2.19E-03

Les concentrations inférieures au seuil de quantification ont ici été remplacées par le seuil de quantification de 50 mg/kg pour les C10-C12 et les C12-C16. Il apparaît que la prise en compte de la coupe pétrolière proposée par le TPHCWG est très pénalisante, ici d'un facteur 10, par rapport à la simple prise en compte des fractions aliphatiques déterminées par le laboratoire. Nous retiendrons donc, dans le reste de l'étude, l'approche du TPHCWG.

Cette évaluation devra être complétée avec celle du risque lié à l'exposition par inhalation.

5.3.2.6. - Anomalies ponctuelles profondes en hydrocarbures totaux à l'ouest du parc à boues

Dans les sols profonds, à l'ouest du parc à boues, la concentration maximale mesurée en hydrocarbures totaux est de 6300 mg/kg. Le piézomètre PZ2 qui est situé en aval latéral présente des concentrations en hydrocarbures conformes.

La solubilité et la volatilité des hydrocarbures dépendent de la coupe pétrolière considérée. Le profil des hydrocarbures correspond au profil type d'une huile. Les coupes les plus solubles et les plus volatiles sont les moins représentées, mais elles sont tout de même présentes.

S'agissant d'une anomalie rencontrée en profondeur, il n'y a pas de risque par ingestion ou par contact direct. Le risque devra être évalué pour la voie d'exposition par inhalation.

5.3.2.7. - Anomalies superficielles et profondes en hydrocarbures totaux du parc à boues

Dans les sols superficiels du parc à boues, la concentration maximale mesurée en hydrocarbures totaux est de 21 000 mg/kg, elle est de 10 000 mg/kg dans les sols profonds. Les hydrocarbures ne devraient pas être détectés sur le site.

A ces niveaux de concentration, la pollution peut être qualifiée de concentrée. A ce titre, elle devra être éliminée, quel que soit le résultat de l'étude sanitaire. De ce fait, l'évaluation n'est pas réalisée pour la situation actuelle.

La solubilité et la volatilité des hydrocarbures dépendent de la coupe pétrolière considérée. Le profil des hydrocarbures correspond au profil type d'une huile. Les coupes les plus solubles et les plus volatiles sont les moins représentées, mais elles sont tout de même présentes. Le piézomètre PZ2 disposé en aval présente des concentrations en hydrocarbures conformes.

5.3.2.8. - Anomalie étendue en hydrocarbures, superficielle et profonde au sud-est du parc à boues

Dans les sols superficiels de la zone située au sud-est du parc à boues, la concentration maximale mesurée en hydrocarbures totaux atteint 12 000 mg/kg. En profondeur, la concentration la plus élevée est de 37 000 mg/kg. La présence d'une phase est constatée sur les eaux souterraines, avec dépassement des valeurs de gestion.

Il a été constaté un impact significatif de cette pollution sur le milieu eaux souterraines. Les concentrations relevées sur les sols sont élevées, on peut qualifier cette pollution de concentrée.

Quel que soit le résultat de l'étude quantitative des risques sanitaires, cette zone devra faire l'objet d'un traitement visant à supprimer la pollution concentrée de façon à maîtriser l'impact sur les eaux souterraines. De ce fait, l'évaluation n'est pas réalisée pour la situation actuelle.

5.3.2.9. - Anomalies ponctuelles en PCB, superficielles et profondes

Dans les sols superficiels de la zone située au sud-est du parc à boues, la concentration maximale mesurée en PCB est de 100 mg/kg en surface et de 470 mg/kg en profondeur. Les congénères constatés sont essentiellement des hexachlorés (PCB138 et PCB153) et heptachloré (PCB180).

Ces congénères sont insolubles, ils ne sont pas volatils et ne sont pas biodégradables.

Les mélanges contenant des PCB à une concentration supérieure à 50 ppm en masse sont soumis à une réglementation particulière (art. R543-17 à R543-41 du code de l'environnement). Dans le

cadre de l'élaboration du plan de gestion, ce seuil de 50 mg/kg doit être considéré comme une valeur de gestion contraignante, indépendamment du risque sanitaire lié à la présence des PCB.

Il convient toutefois de s'assurer que la limite de 50 ppm est acceptable dans le cadre du projet d'occupation du site (scénario industriel).

Le risque par ingestion est abordé dans ce paragraphe. La valeur utilisée pour le calcul du risque est la limite de gestion fixée à 50 ppm, et non pas la concentration maximale mesurée sur les échantillons du site.

N°CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/kg/j)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	QD
1336-36-3	PCB	0.00002	50	2.35E-05	1.17 ^E +00
SOMME QD :					1.17E+00

Quotient de danger lié à l'exposition par ingestion aux PCB

N°CAS	Substances cancérigènes	VTR (mg/kg/j) ⁻¹	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	DJEo (mg/kg)/j	ERI
1336-36-3	PCB	0.4	50	1.34E-05	5.37E-06
ERI Total					5.37E-06

Excès de Risque Individuel lié à l'exposition par ingestion aux PCB

Il apparaît qu'une concentration de 50 mg/kg en surface du sol resterait préoccupante, du fait d'un quotient de danger supérieur à 1 pour l'exposition par ingestion. L'excès de risque individuel de $0,54.10^{-5}$ est inférieur à $1.0.10^{-5}$ tout en étant significatif.

5.3.3. - Conclusions sur les anomalies identifiées

Les résultats de cette première approche des anomalies sont synthétisés dans le tableau suivant.

Item	Description	Degré d'importance	Remarques
1	Cadmium – sols superficiels / profonds	Non significatif	
2	Cuivre – sols superficiels / profonds	Non significatif	
3	Plomb - sols superficiels / profonds	Non significatif	Non négligeable
4	HAP – sols superficiels parc à boue HAP – autres sols superficiels	Préoccupant Significatif	Nécessite des mesures de gestion Non négligeable
5	Hydrocarbures – sols superficiels parc à ferrailles	Non significatif	A valider pour l'inhalation
6	Hydrocarbures – sols profonds- ouest du parc à boue	Non significatif	A valider pour l'inhalation
7	Hydrocarbures – sols superficiels et profonds - parc à boues	Significatif	Nécessite des mesures de gestion
8	Hydrocarbures – sud-est du parc à boues	Préoccupant	Nécessite des mesures de gestion
9	PCB	Préoccupant	Nécessite des mesures de gestion

Synthèse de la première approche des anomalies

Ce tableau indique qu'il faudra envisager des mesures de gestion pour les anomalies 4, 7, 8 et 9 et qu'il faut valider cette approche en intégrant la voie d'exposition par inhalation pour les items 3, 4 et 6.

6. - PLAN DE GESTION

6.1. - GENERALITES

6.1.1. - Objectifs

Le plan de gestion s'inscrit dans la méthodologie nationale définie par les circulaires du 8 février 2007 qui définissent ses objectifs, à savoir :

- la maîtrise des sources de pollution
- la maîtrise des impacts,
- une gestion de bon sens.

La maîtrise des sources vise en premier lieu à rechercher les possibilités de suppression des sources de pollution. Cette recherche doit se faire compte tenu des techniques disponibles et de leurs coûts économiques. Ainsi lorsque que des pollutions concentrées sont identifiées (flottants sur les eaux souterraines, terres imprégnées de produits, produits purs, ...) la priorité consiste d'abord à extraire ces pollutions concentrées, généralement circonscrites à des zones limitées. Il apparaît cependant nécessaire, quand la suppression totale des sources de pollution n'est pas possible (après avoir réalisé une démarche coûts – avantages, et passé en revue les meilleures techniques disponibles à un coût raisonnable), de garantir que les impacts provenant des sources résiduelles sont effectivement maîtrisés et acceptables, tant pour les populations que pour l'environnement. Sur ce point, l'arbitrage entre les différentes options de gestion possibles (dépollution in situ ou confinement versus mise en décharge des terres polluées par exemple) doit se faire au regard des perspectives de développement durable et de bilan environnemental global.

La maîtrise des impacts : quand il est démontré qu'il n'est pas possible de supprimer la totalité des sources dans des conditions techniquement ou économiquement acceptables, il s'agit alors de garantir que les impacts des émissions provenant des sources résiduelles ou « expositions résiduelles » sont acceptables pour les populations et l'environnement. Si la maîtrise des sources permet de limiter le processus de dégradation des milieux, elle peut s'avérer insuffisante pour autoriser leur utilisation sans exposer les populations à des risques excessifs. Dans ce cas il convient d'y remédier, d'abord en améliorant la qualité des milieux par un plan de gestion approprié et, si ce n'est pas suffisant, en restreignant les usages des milieux ou en prévoyant des mesures de précaution adaptées en cas de changement d'usage. Cette caractéristique du plan de gestion est essentielle lorsque celui-ci concerne les situations où les usages des milieux sont fixés.

Le bon sens : d'une manière générale, le plan de gestion doit être d'une ampleur proportionnée aux pollutions et à leur étendue. Lorsque des projets sont réalisés sur des zones polluées, il s'agit :

- de réserver d'emblée les lieux susceptibles d'émettre des vapeurs toxiques provenant du sol ou des eaux souterraines à des usages non sensibles (espaces à l'air libre, parking, caves ventilées, ...)
- ou de prévoir d'emblée des vides sanitaires ventilés naturellement ou mécaniquement pour les immeubles de plain pied.

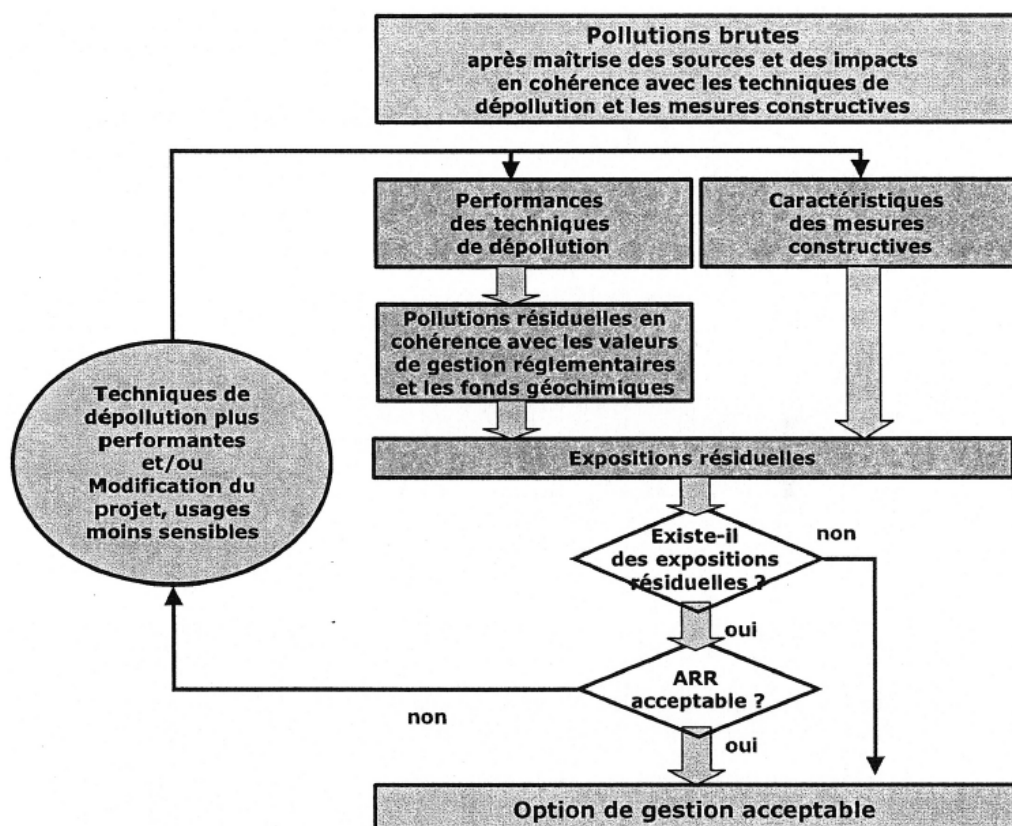
Le bon sens ne s'oppose bien sûr pas à une dépollution des sols tenant d'abord compte des performances permises par les techniques de dépollution et des coûts associés, puis de la démonstration de l'acceptabilité des risques sanitaires par des calculs menés suivant les règles de l'art.

Ainsi, l'objectif est d'atteindre le meilleur niveau de protection de l'homme et de la nature en évitant de mobiliser des ressources disproportionnées au regard des intérêts à protéger. Par exemple, il n'est pas toujours utile d'excaver des terres polluées présentes sur un site alors que les impacts environnementaux, s'ils existent, sont bien souvent déjà établis, et des solutions alternatives peuvent être proposées comme le traitement sur place, le confinement, ...

La circulaire du 8 février 2007 relative aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués demande par ailleurs de ne pas retenir de critères d'acceptabilité des risques autres que ceux retenus au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé, à savoir :

- pour les effets à seuil, un quotient de danger théorique inférieur à 1
- pour les effets sans seuil, un excès de risque individuel théorique inférieur à 10^{-5} .

Le schéma suivant reprend le principe d'élaboration des seuils de dépollution dès lors que des pollutions résiduelles sont laissées en place. Les critères d'acceptabilité de l'ARR (Analyse des Risques Résiduels) sont ceux cités ci-dessus.



Principe d'élaboration et de validation des seuils de dépollution (circ. du 8 février 2007)

6.1.2. - Le bilan coûts-avantages

Les options de gestion identifiées, la démarche se base sur une approche coûts-avantages prenant en compte les critères d'appréciation suivants :

- les mesures de nature technique et les coûts économiques correspondants,
- les perspectives de développement durable et de bilan environnemental global.

Le plan de gestion retenu doit correspondre au bilan coûts-avantages le plus favorable, tant au plan sanitaire, qu'environnemental, en veillant à privilégier les options qui permettent :

- en premier lieu l'élimination de la source de pollution,
- en second lieu la désactivation des voies de transfert.

S'agissant d'une pollution historique, il s'agit d'atteindre le meilleur niveau de protection de l'environnement, humain et naturel, à un coût raisonnable, tout en évitant de mobiliser des ressources inutilement démesurées au regard des intérêts à protéger et des bénéfices atteignables.

Dans le cas de la pollution historique du site de projet de la centrale électrique de Doniambo, il convient d'intégrer dans le bilan coûts-avantage l'aspect industriel du projet, et en particulier le calendrier des opérations à venir. Il s'avère dès maintenant, que les mesures de gestion devront être des mesures permettant une libération rapide de l'emprise du sol. De ce fait, dans le cadre de ce projet, aucun traitement actif in situ ne sera proposé.

6.2. - BILAN COUTS-AVANTAGES

6.2.1. - Techniques de gestion envisageables

Les anomalies du site concernent :

- des concentrations en métaux,
- des concentrations en HAP,
- des concentrations en hydrocarbures,
- des concentrations en PCB.

Comme précisé dans le paragraphe précédent, du fait de la particularité de ce site qui est concerné par un projet industriel nécessitant la libération des terrains à brève échéance, les solutions de traitement in situ ne seront pas évaluées car elles s'avèrent incompatibles avec le calendrier du projet.

Les solutions envisageables sont donc uniquement des options de traitement ou de valorisation après excavation, ou des solutions de confinement.

Le tableau suivant présente les solutions de traitement qui sont envisageables pour les anomalies identifiées sur le site.

Solution de réhabilitation	Description	Remarques	Option envisageable
Traitement ex situ des sols	Excavation et tri des matériaux pour valorisation / élimination	Traitements par désorption thermique / biocentre / valorisation énégrétique des hydrocarbures / réduction des PCB / Elimination en ISDND / ISDI / ISDD Les excavations doivent être remblayées par des volumes équivalents	OUI
Confinement des sols	Couverture, sarcophage supprimant le risque de transfert	N'est pas adapté aux pollutions profondes situées au niveau des eaux souterraines	OUI
Traitement ex situ des eaux souterraines	Drainage passif ou pompage des eaux souterraines avec traitement hors site	Délai de traitement important et nécessite un accès au site pour le pompage ou drainage Ne permet que le traitement des matériaux impactés situés au niveau des eaux souterraines, mais pas celui de la zone non saturée Permet de stopper la migration d'une pollution des eaux souterraines	OUI en limite de l'emprise du projet uniquement

Techniques de gestion envisageables

6.2.2. - Options de traitement / valorisation envisageables

Les options de gestion sont contraintes par la disponibilité des solutions de traitement sur le territoire. Il faut donc tenir compte de l'insularité et des disponibilités locales, car le coût du transport peut rapidement devenir rédhibitoire, sans compter la perte du bénéfice environnemental en cas de transport sur de grandes distances.

Concernant la gestion des scories impactées par des métaux (cuivre, cadmium, plomb), les solutions de traitement à fin de valorisation sont des solutions de tri / lavage / séparation magnétique (quand les anomalies sont liées à des ferreux). Les solutions de dégradation biologique (biolixiviation, phytoremédiation, etc.) ne sont généralement pas très performantes et n'ont jamais été validées sur des scories riches en nickel. Les solutions d'élimination sont des stockages en ISDI/ISDND/ISDD selon le cas. Du fait des niveaux modérés des anomalies, des solutions de confinement peuvent être envisagées.

Concernant la gestion des scories impactées par les HAP ou les hydrocarbures, une solution de traitement est disponible sur l'île. Il s'agit d'une solution de valorisation énergétique dans les fours de l'usine. Du point de vue énergétique, cette solution est intéressante pour les concentrations significatives (plusieurs milliers de ppm). Le traitement des HAP ne sera pas intéressant du point de vue énergétique. Il offre cependant la solution de l'élimination de la pollution. Les traitements biologiques sont très efficaces pour les coupes pétrolières légères, elles le sont moins pour les coupes lourdes. Ils peuvent toutefois constituer une solution complémentaire par l'atténuation naturelle des concentrations résiduelles qui seraient laissées en place. Le stockage définitif des scories significativement impactées en installation de stockage

de déchets dangereux / non dangereux nécessite des prétraitements de stabilisation qui peuvent rendre cette solution économiquement coûteuse et constituer une ineptie du point de vue environnemental.

Concernant la gestion des scories impactées aux PCB, il s'avère qu'aucune solution de traitement n'a été identifiée à ce jour sur l'île, ce qui nécessitera soit leur exportation pour traitement, soit l'importation d'une solution de traitement. Les solutions de traitement envisageables sont la désorption thermique ou la déchloration physico chimique. Les traitements biologiques ne sont pas à envisager car les PCB concernés sont essentiellement des congénères à 6 et 7 atomes de chlore qui ne sont pas biodégradables (ou très lentement). La solution de la déchloration devra faire l'objet d'un essai pilote du fait de la spécificité de l'encaissant (scories riches en chrome et nickel).

6.2.3. - Options de gestion envisageables

Option n°1 : Suppression de l'ensemble des anomalies

La méthodologie nationale précise qu'il faut évaluer en premier lieu la suppression totale des sources de pollution.

Il s'agit du retrait de l'ensemble des sols présentant des anomalies, qu'il s'agisse des métaux, des hydrocarbures, HAP ou PCB avec traitement des sols hors site, ainsi que du pompage pour traitement des eaux polluées. Le remblaiement des fouilles se ferait avec des scories de fraîche production.

- Sous option a : les terres polluées aux hydrocarbures et HAP sont valorisés dans les fours de l'usine de Doniambo et les terres aux PCB sont traitées dans un centre agréé hors de l'île ou sur place par réduction physico-chimique.
- Sous option b : les terres polluées aux hydrocarbures, HAP et PCB sont traitées sur une unité de désorption thermique mobile acheminée sur place.

Dans les deux cas, les terres impactées par des métaux sont à traiter en installation de stockage de déchets sur le territoire.

Option n°2 : Retrait des anomalies concentrées en hydrocarbures, en HAP et PCB

Il s'agit du retrait des fortes anomalies en HAP, hydrocarbures et PCB complété par un traitement des eaux souterraines dans la zone du PZ10. Les sols et eaux seront traités hors site.

Il s'agit ici d'une solution ne visant que les anomalies qui, individuellement, posent un problème sanitaire selon l'approche effectuée dans le paragraphe relatif à la hiérarchisation des anomalies. Les anomalies en métaux ne sont donc pas concernées. Les zones excavées seront comblées avec de la scorie de fraîche production.

- Sous option a : les terres polluées aux hydrocarbures et HAP sont valorisés dans les fours de l'usine de Doniambo et les terres aux PCB sont traitées dans un centre agréé hors de l'île ou sur place par réduction physico-chimique.
- Sous option b : les terres polluées aux hydrocarbures, HAP et PCB sont traitées sur une unité de désorption thermique mobile acheminée sur place.

Option n°3 : Retrait des anomalies concentrées en organiques et confinement du site

Il s'agit, comme pour l'option n°2, du retrait des fortes anomalies en HAP, hydrocarbures et PCB complété par un traitement des eaux souterraines dans la zone du PZ10 avec traitement hors site des sols et eaux.

En complément, les zones présentant des anomalies métalliques et qui ne sont pas destinées à être construites, seront couvertes par un enrobé ou par de la scorie fraîche sur une épaisseur de 20 à 30 cm pour confiner les pollutions métalliques de façon à supprimer les expositions par contact direct, par ingestion de sols et par inhalation de poussières.

Comme pour l'option 2, deux options sont à prévoir pour les composés organiques.

- Sous option a : les terres polluées aux hydrocarbures et HAP sont valorisés dans les fours de l'usine de Doniambo et les terres aux PCB sont traitées dans un centre agréé hors de l'île ou sur place par réduction physico-chimique.
- Sous option b : les terres polluées aux hydrocarbures, HAP et PCB sont traitées sur une unité de désorption thermique mobile acheminée sur place.

Concernant le confinement, les coûts seront uniquement évalués pour la mise en place d'une couche de 30 cm de scorie fraîche, cette option étant la moins onéreuse. L'objectif étant de supprimer les expositions par contact direct, ingestion de sols et inhalation de poussières, l'imperméabilisation des sols n'apporte ici aucun bénéfice complémentaire.

6.2.4. - Bilan coûts – avantages

L'option 1 se distingue par le traitement systématique de la totalité des pollutions. Pour l'option 2, le traitement est partiel, il vise à supprimer les pollutions concentrées, maîtriser les sources et leurs impacts de façon à mettre le site en conformité avec son usage futur. Les options 2 et 3 se distinguent entre-elles par le traitement complémentaire des métaux par confinement dans le cas de l'option 3.

Les sous options « a et b » se distinguent par le mode de traitement des scories :

- La sous option « a » utilise les capacités de l'usine pour une partie de la pollution, mais nécessite l'exportation (hors de l'île) de la pollution aux PCB ou le traitement sur place qui sera subordonné à un essai pilote.
- La sous option « b » permet le traitement de la totalité de la pollution sur une unité mobile.

6.2.4.1. - Principe et coûts de l'option 1

Le principe de l'option 1 consiste à excaver la totalité des scories impactées par les activités passées. Cela concerne :

- 4,5 hectares du parc à ferrailles qui sont impactés superficiellement par les métaux,
- 1,2 hectares qui sont impactés jusqu'à la profondeur de 4 m par les hydrocarbures et ou des PCB dans la partie sud-est du domaine d'étude,
- environ 5000 m² impactés par des HAP ou des hydrocarbures et accessoirement par des métaux au niveau du parc à boues sur un mètre environ.

Le volume de terre à excaver serait alors de :

- 45 000 m³ pour le parc à ferrailles (sur la base d'une épaisseur de 1 m qu'il conviendra de vérifier),
- 48 000 m³ pour la partie sud-est du parc à boues
- 5 000 m³ pour le parc à boues,

ce qui représente un total de 98 000 m³. Sur la base d'une densité moyenne de 1,5, ce volume correspond à un tonnage de l'ordre de 150 000 tonnes.

A un coût de l'ordre de 300 XPF la tonne, les travaux d'excavation à eux seuls peuvent être estimés entre 44 millions XPF.

Ce volume de 98 000 m³ devra être en partie stocké (scories impactées par des métaux ou légèrement impactés par des hydrocarbures) et en partie traitée (scories significativement impactées en composés organiques). Selon la sous option choisie, les scories aux PCB seront traitées sur place (sous option b) ou exportées (a).

L'horizon de sols superficiels de l'ancien parc à ferrailles est impacté aux hydrocarbures à plus de 500 ppm ce qui signifie que ces scories ne sauraient être admises en installation de stockage de déchets inertes, sauf à titre dérogatoire. Le coût de stockage en ISDND est de l'ordre de 12 000 XPF la tonne, ce qui représenterait un coût de l'ordre de :

- 810 millions XPF pour les 45 000 m³ (67 500 tonnes) de scories du parc à ferrailles,
- 864 millions XPF pour les 48 000 m³ (72 000 tonnes) de scories de la zone au sud-est du parc à boues,
- 90 millions XPF pour les 5 000 m³ (7 500 tonnes) de scories du parc à boues,

Soit un total de 1 764 millions XPF.

Une partie des scories de la zone sud-est présente des concentrations trop importantes pour être stockées en l'état. Elles devront être traitées. Le coût d'un tel traitement est de l'ordre de 10 000 XPF par tonne pour le traitement des hydrocarbures dans les fours de l'usine, et de 120 000 XPF pour les PCB qui devraient être exportés. Le coût peut être estimé à 150 millions XPF supplémentaires pour les hydrocarbures (sur la base de 10 000 m³) et de 250 millions XPF pour les PCB sur la base de 1500 m³.

Il est à noter qu'une fois traitée, les scories susceptibles de contenir des impacts en métaux produits par les activités antérieures devront alors être éliminées en installation de stockage de déchets inertes dans la logique de ce scénario.

En résumé, les aspects environnementaux et économiques de l'option 1 sont les suivants :

- d'un point de vue environnemental, de tels travaux génèrent un trafic routier important (ballet de camions vers les centres de stockage) et donc des émissions significatives de CO₂ et autres polluants du trafic. Ils provoqueront également, de façon provisoire, la saturation des centres de stockage de déchets par cet apport massif de scories, et sur le long terme, un raccourcissement de la durée potentielle d'exploitation de ces centres,
- d'un point de vue économique, il s'agit d'une option qui revient, pour les traitements et stockages des sols, aux environs de 2,23 milliard XPF, pour la remise à neuf de cette

zone constituée de remblais. Le coût du traitement des eaux souterraines n'a pas encore été abordé.

6.2.4.2. - Principe et coûts de l'option 2

Le principe de l'option 2 consiste à n'excaver que les pollutions concentrées ou présentant des risques pour la santé humaine ou l'environnement, et à laisser en place les anomalies d'importance secondaire qui s'avèrent acceptables à l'issu des conclusions de l'ARR (Analyse des Risques Résiduels) prédictive.

Dans ce cas :

- le parc à ferrailles ne ferait que l'objet d'une intervention ponctuelle,
- les interventions sur le parc à boues se limiteraient aux zones significativement impactées par des HAP et des hydrocarbures,
- l'intervention dans la partie sud-est se focaliserait sur les concentrations les plus importantes en hydrocarbures,
- l'intervention sur la zone PCB se limiterait aux zones concentrées qui ont été identifiées.

Dans le cadre du bilan coûts avantages, nous proposons d'examiner trois seuils de coupure pour les hydrocarbures, et deux seuils de coupure pour les PCB.

Seuils de coupure des hydrocarbures

Suivant les matériaux du sol et la nature des hydrocarbures, les hydrocarbures sont visibles à partir d'une concentration de l'ordre de 1%, soit 10 000 mg/kg. Quand la proportion d'hydrocarbures légers augmente, les hydrocarbures sont identifiés de façon olfactive à des seuils plus bas. Nous proposons comme seuil de coupure le plus élevé, la limite de 10 000 mg/kg en tant que seuil de coupure théorique car il s'agit d'une limite appréciable sur le terrain. Il s'agit de la limite à partir de laquelle les sols apparaissent comme étant imprégnés d'hydrocarbures. Cette limite est acceptée en métropole en tant que cible de dépollution pour un usage industriel construit.

Nous proposons également d'examiner les coûts pour des seuils de coupure plus faibles fixés à 5000 mg/kg et à 2000 mg/kg.

Seuils de coupure des PCB

Un déchet est considéré comme dangereux dès lors que sa concentration en PCB totaux est supérieure à 50 mg/kg. Selon l'INERIS, les PCB(7) représentent 80% des PCB totaux. Comme les analyses sont effectuées sur les PCB(7), la limite de 50 mg/kg pour les PCB totaux est convertie en 40 mg/kg pour les PCB(7).

Du fait du projet industriel qui conduira à des excavations de terre il convient de s'assurer que les terres qui seront excavées dans le cadre des travaux n'entrent pas dans la catégorie des déchets dangereux. Pour se garantir une marge de sécurité, nous proposons d'appliquer un coefficient de sécurité de 2 qui ramène la limite à 20 mg/kg de PCB(7).

Nous proposons donc d'étudier un seuil de coupure de 20 mg/kg de PCB(7), ainsi qu'un second seuil moitié moindre, soit 10 mg/kg.

Volumes concernés

Les volumes des terres contaminées aux hydrocarbures sont déterminés à partir d'une interpolation effectuée par le logiciel Surfer. Les volumes sont évalués pour chaque horizon (0 – 0,5 ; 0,5 – 1 ; 1 – 2 ; 2 – 3 ; 3 – 4 m).

Seuils de coupeure (mg/kg)	Horizon 0 – 0,5m Surface (m ²)	Horizon 0,5 – 1m Surface (m ²)	Horizon 1 – 2m Surface (m ²)	Horizon 2 – 3m Surface (m ²)	Horizon 3 – 4m Surface (m ²)
10 000	50	270	330	280	470
5 000	260	650	1000	720	980
2 000	1700	2450	5700	4800	4950

Répartition des surfaces impactées par les hydrocarbures suivant les seuils de coupeure

Il ressort de cette répartition, que les volumes à traiter sont de :

- 1 240 m³ pour un seuil de coupeure à 10 000 mg/kg
- 3 150 m³ pour un seuil de coupeure à 5 000 mg/kg
- 17 500 m³ pour un seuil de coupeure à 2 000 mg/kg

Du fait du caractère ponctuel des contaminations aux PCB, les volumes sont évalués à partir des cartes, autour des points concernés, sans interpolation, celles-ci n'étant pas possible.

Zone	Horizon 0 – 0,5m Surface (m ²) 20 – 10 ppm	Horizon 0,5 – 1m Surface (m ²) 20 – 10 ppm	Horizon 1 – 2m Surface (m ²) 20 – 10 ppm	Horizon 2 – 3m Surface (m ²) 20 – 10 ppm	Horizon 3 – 4m Surface (m ²) 20 – 10 ppm
SC13	0 - 40	0 - 40			
311	25 - 50	25 - 50	25 - 50	25 - 50	25 - 50
217	0	0 - 25			
112-113	0	25 - 50	0 - 25		
347-391	0	0	50 - 100	0 - 25	
H6C	0	0	25 - 50	25 - 50	25 - 50
I6A	25 - 50	25 - 50	25 - 50	25 - 50	25 - 50
Surfaces totales	50 - 140	75 - 215	125 - 275	125 - 175	75 - 150
Volumes (m ³)	25 - 70	40 - 110	125 - 275	125 - 175	75 - 150

Répartition des surfaces et volumes de PCB dans les différentes sources suivant les seuils de coupeure

Les volumes totaux estimés sont de 390 m³ pour le seuil de coupeure à 20 ppm, et de 780 m³ pour un seuil de coupeure fixé à 10 ppm.

Pour la plupart des zones, les volumes sont estimés à partir d'un seul point, les sondages voisins présentant des concentrations inférieures aux seuils de coupeure. Il conviendra de vérifier sur le terrain la limite réelle des concentrations élevées. L'incertitude sur ces volumes est importante.

Pour les zones aux hydrocarbures comme pour les zones aux PCB, le comblement des excavations se fera à partir de scories fraîches. Les zones qui resteront en l'état, ne posent pas de

problèmes spécifiques par rapport aux métaux comme l'a montré l'évaluation des risques pour la voie d'exposition par ingestion.

Coûts associés

En très grande partie, les coûts d'excavation et de traitement de terres sont directement proportionnels aux volumes à traiter. Nous synthétisons dans le tableau suivant, les coûts pour les différents seuils de coupure sur la base des coûts unitaires suivants :

- Excavation : 300 XPF / tonne
- Stockage en ISDND : 12 000 XPF / tonne
- Traitement des hydrocarbures dans l'usine : 10 000 XPF / tonne
- Traitement des PCB à l'export : 120 000 XPF / tonne

Les coûts de suivi de chantier et d'analyse ne sont pas repris ici, ils sont faibles par rapport aux coûts de traitement.

Seuils de coupure mg/kg	Volume (m3)	Tonnage (t)	Coût d'excavation (XPF)	Coût de traitement (XPF)	Coût total (XPF)
HCT – 10 000	1 240	1860	558 000	18 600 000	19 158 000
HCT – 5 000	3 150	4725	1 417 500	47 250 000	48 667 500
HCT – 2 000	17 500	26250	7 875 000	262 500 000	270 375 000
PCB – 20	390	585	175 500	70 200 000	70 375 500
PCB - 10	780	1170	351 000	140 400 000	140 751 000

Nous constatons que pour le traitement des hydrocarbures, la diminution par 2 du seuil de coupure, en passant de 10 000 mg/kg à 5 000 mg/kg augmente le coût de traitement d'un facteur 2,5, passant de 19,2 millions XPF à 48,7 millions XPF.

En fixant un seuil de coupure à 2 000 mg/kg, le coût bondit à 270 millions XPF.

En ce qui concerne les PCB, en passant d'un seuil de coupure de 20 mg/kg à un seuil de 10 mg/kg, le volume à traiter et donc le coût est doublé, passant de 70,4 millions XPF à 140,7 millions XPF. Ceci est lié au fait que les volumes sont estimés, aucune interpolation entre les points de sondages n'étant possible du fait du caractère très ponctuel des anomalies.

Le coût lié au traitement des eaux souterraines sera abordé ultérieurement.

6.2.4.3. - Principe et coûts de l'option 3

Le principe de l'option 3 est le même que pour l'option 2. Il se rajoute uniquement la mise en place d'une couverture de scories sur une épaisseur de 30 cm sur la superficie non construite du site.

Le surcoût par rapport à l'option 2 s'évalue donc de la façon suivante :

- apport de 30 cm de scories non impactées sur environ 12 hectares, soit 36 000 m³ à surcoût quasi-nul (la zone de verse étant peu distante de la zone de projet, il peut être considéré que le surcoût n'est pas significatif par rapport aux incertitudes sur les coûts globaux),

- régalaage des 54 000 tonnes de scories sur la zone de projet à 250 XPF la tonne, soit 13,5 millions XPF.

Le coût global de l'option 3 est donc de 13,5 millions XPF plus élevé que celui de l'option 2.

6.2.4.4. - Bilans comparatifs des trois options

Les bilans environnementaux des solutions 2 et 3 apparaissent meilleurs que celui de la solution 1 sur plusieurs aspects :

- ces solutions ne génèrent pas de trafic routier hors site contre plus de 7000 camions de 20 tonnes de charge utile pour la solution 1,
- outre la circulation, elles évitent l'émission de CO₂ et autres polluants du trafic,
- elles évitent l'excavation de 150 000 tonnes de scories à traiter dans la solution 1 et donc le fonctionnement des engins de travaux publics émetteurs de CO₂ ; seuls 1 500 à 18 000 tonnes environ seront à excaver et traiter (ce qui est déjà important) suivant les seuils de dépollution qui seront retenus,
- elles évitent l'engorgement des centres de stockage de déchets inertes / non dangereux et dangereux par des solutions alternatives.

Du point de vue environnemental, l'avantage de la solution 1 est de produire un site exempt de toute servitude. Pour autant, le site reste localisé dans une zone industrielle au cœur d'une large zone remblayée. Le bénéfice environnemental est dans ce cas, surtout symbolique car il ne dote la zone d'aucun atout écologique ou urbanistique supplémentaire.

Du point de vue économique, la comparaison des options de gestion indique que l'option 2 revient à environ 90 à 410 millions XPF suivant les seuils de dépollution retenus et l'option 3 revient à 13,5 millions XPF supplémentaires alors que l'option 1 revient à environ 2,23 milliards XPF. On constate un facteur de 5 à plus de 20 suivant les seuils choisis, entre la solution 1 et les deux autres, ce qui est considérable en comparaison de peu de bénéfice environnemental et sanitaire avéré. Le coût du traitement des eaux souterraines n'est pas intégré dans le bilan comparatif, car il serait identique pour les trois options étudiées.

D'un point de vue social, le bilan de la solution 1 est mauvais car cette solution crée du trafic de poids lourds et engorge les installations de stockage de déchets, ce qui, à terme, se traduira par la nécessité de trouver de nouvelles capacités de stockage.

En conclusion, le bilan coûts-avantages est favorable, sans réserve, aux options de gestion 2 et 3 par rapport à l'option 1 qui consiste à excaver et traiter l'ensemble des anomalies.

L'option n°3 est plus onéreuse que l'option n°2, mais en contrepartie, elle contribue significativement à la réduction du risque pour le personnel évoluant sur le site. Le surcoût ne paraît pas rédhibitoire par rapport à l'ampleur du projet de construction d'une nouvelle centrale. Cette option nous paraît donc préférable à l'option n°2, malgré son surcoût. C'est l'option qui sera retenue.

6.2.4.5. - Traitement des eaux souterraines

Le traitement des eaux souterraines n'a pas été abordé dans le cadre du bilan coûts-avantages car la seule méthode compatible avec le calendrier industriel est le drainage ou le pompage des eaux pour traitement.

Un seul piézomètre indique une pollution de l'eau souterraine, l'ouvrage est implanté au cœur de la zone polluée par les hydrocarbures. L'absence d'impact sur les ouvrages voisins ainsi que sur les ouvrages en périphérie du site indique que la pollution des eaux ne se déplace pas. Il se pourrait également que la pollution des eaux soit localisée au niveau piézomètre, et provienne du ressuyage des sols traversés par l'ouvrage implanté dans la zone où les sols contiennent plusieurs dizaines de milliers de mg/kg d'hydrocarbures. En effet, les scories ne favorisent pas l'écoulement des fluides visqueux et limitent donc la migration des hydrocarbures : la création de l'ouvrage a donc ouvert un drain vertical qui permet l'accumulation des hydrocarbures.

Pour lever le doute, une excavation a été ouverte dans la zone polluée. L'observation du miroir de l'eau a permis de constater qu'après écrémage, il n'y avait plus d'arrivée de phase flottante, sauf localement depuis les parois les plus polluées. On peut en déduire qu'un écrémage des eaux souterraines, à réaliser après excavation des terres de la zone polluée, sera très vraisemblablement suffisant. Les eaux d'écrémage pourront être traitées au nouveau parc à boues de l'usine. Le coût est identique pour les trois options de gestion. Il s'agit d'un coût interne de main d'œuvre auquel s'ajoute le coût du camion pompe. Il n'a pas été évalué ici.

6.2.4.6. - Option de gestion retenue – seuils de dépollution proposés

L'option de gestion retenue n'est pas basée sur l'élimination de la totalité des sources, mais sur l'élimination des pollutions les plus concentrées. L'option 3 qui consiste à compléter l'opération en confinant les pollutions métalliques est l'option retenue pour le cas de ce site ; par rapport à l'option 2, cette option élimine plusieurs voies d'exposition (ingestion de sols, inhalation de poussières, contact direct) pour un surcoût qui paraît raisonnable au regard du bénéfice retiré.

Comme des concentrations résiduelles vont être laissées en place, il convient donc, conformément à la méthodologie nationale, de s'assurer :

- de la maîtrise des sources résiduelles,
- de la compatibilité du site avec son usage,
- de la conservation de la mémoire des sources résiduelles.

La maîtrise des sources résiduelles pourra être assurée par une surveillance de la qualité des eaux souterraines sur les piézomètres définitifs qui ont été installés en périphérie du site en septembre 2015 (P20 à P25), les ouvrages présents sur site étant appelés à disparaître au cours de son aménagement. La compatibilité du site avec son usage a été vérifiée au moyen de l'outil d'analyse des risques sanitaires résiduels. La conservation de la mémoire devra être assurée par des servitudes.

L'usage futur du site est un usage industriel. L'utilisation du site pour un autre usage devra être subordonnée à la réalisation préalable d'une étude des risques intégrant les voies d'exposition liées à cet usage et prenant en compte les cibles concernées, et à la démonstration que ces risques sont acceptables pour l'usage envisagé.

Les seuils de dépollution n'ont pas encore été définis. Ils devront préalablement être validés par une analyse des risques résiduels. Pour mémoire, les coûts des travaux ont été évalués pour trois seuils pour les hydrocarbures (10 000 mg/kg, 5 000 mg/kg et 2 000 mg/kg), et pour deux seuils pour les PCB (20 mg/kg et 10 mg/kg).

Pour comparer le rapport coût-bénéfice relatif à chaque seuil de dépollution, nous avons effectué un bilan de masse qui est présenté dans le tableau suivant.

Ce bilan présente la masse de polluant extraite pour le seuil de dépollution le plus élevé ainsi que le coût unitaire de dépollution (par kg extrait). Il détermine les masses complémentaires extraites pour chaque seuil plus faible (pour la seule tranche considérée) ainsi que les coûts unitaires associés à cette tranche, obtenus à partir des coûts additionnels de dépollution de la tranche.

Seuils de dépollution mg/kg	Concentration moyenne de la tranche (mg/kg)	Quantité de terre de la tranche (t)	Masse de polluant extraite pour la tranche (kg)	Coût de traitement de la tranche (XPF)	Coût unitaire de traitement de la tranche (XPF/kg)	Coût de traitement total (XPF)
HCT - 10 000	15 000	1 860	27 900	19 158 000	687	19 158 000
HCT - 5 000	7 500	2 865	21 488	29 509 500	1 373	48 667 500
HCT - 2 000	3 500	21 525	75 338	221 707 500	2 943	270 375 000
PCB - 20	100	585	59	70 375 500	1 203 000	70 375 500
PCB - 10	15	1 170	18	70 375 500	4 010 000	140 751 000

Nous constatons que le coût augmente plus rapidement que les quantités de polluant extraites quand les seuils de dépollution s'abaissent, ce qui se traduit par une augmentation du coût unitaire.

Nous constatons que pour un seuil de dépollution fixé à 10 000 mg/kg pour les hydrocarbures, le coût est de 687 XPF par kg d'hydrocarbures extrait du sol. En abaissant le seuil à 5000 mg/kg, chaque kg supplémentaire extrait a un coût unitaire de 1373 XPF. Le coût du kg supplémentaire devient encore plus élevé quand le seuil est abaissé à 2000 mg/kg, et passe à 2 943 XPF.

Concernant les PCB, le coût unitaire obtenu pour une dépollution à 20 mg/kg est de 1,2 million XPF par kg de PCB. Le coût passe à 4 millions XPF le kg supplémentaires quand le seuil est abaissé à 10 mg/kg.

Comme le coût augmente beaucoup plus vite que l'avantage produit, nous proposons de retenir les seuils de dépollution les plus élevés qui conduisent à un coût global de près de 100 millions XPF pour le seul traitement des PCB et HCT, en ayant conscience que le fait de viser ces seuils conduira au final à obtenir des niveaux de pollution plus faibles du fait des incertitudes sur la distribution réelle de la pollution.

L'analyse des risques résiduels sera donc établie sur la base de scénario de l'élimination des concentrations supérieures à 10 000 mg/kg en hydrocarbures et à 20 mg/kg en PCB.

7. - ANALYSE DES RISQUES SANITAIRES RESIDUELS (ARR)

7.1. - SCENARIO D'EXPOSITION

7.1.1. - Qualité des sols

Le tableau suivant présente une distribution statistique des concentrations qui ont été mesurées lors du diagnostic de la qualité des sols.

	PCB(7) (mg/kg)	HCT (mg/kg)	HAP(16) (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)
SOLS SUPERFICIELS (0 – 1 m) ou (0 – 0,5 m) selon le cas						
Nb analyses	163	140	9	37	37	37
Concentration médiane	0.011	74	0.5	<0.5	9	10
Concentration moyenne	1.84	1189	9.86	0.73	56.8	114
Concentration 95 ^{ème} centile	2.86	6980	48.6	3.06	274	532
Concentration maximale	100	25000	77	7	600	630
SOLS tous horizons confondus						
Nb analyses	482	334	23	75	75	75
Concentration médiane	0	80	0.11	<0.5	7	<10
Concentration moyenne	3.89	1491	4.64	0.42	45.9	71.3
Concentration 95 ^{ème} centile	4.51	9430	5.88	2.33	235	470
Concentration maximale	470	37000	77	7	600	630

Distribution statistique des concentrations dans le sol des substances associées aux anomalies
Situation actuelle

L'analyse résiduelle présentée ci-dessus s'appuie sur l'option de gestion n°3 qui a été retenue dans le cadre de cette étude. Il est donc considéré que dans le cadre de la remise en état, les opérations suivantes auront été effectuées :

- Elimination de la pollution aux HAP du parc à boues
- Elimination des pollutions concentrées en hydrocarbures (> 10 000 mg/kg)
- Elimination de la pollution significative en PCB (>20 mg/kg pour la somme des 7)
- Couverture de l'ensemble du site par 30 cm de scories exemptes de pollution.

Ces niveaux de concentration de 10 000 mg/kg pour les hydrocarbures et de 20 mg/kg pour les HAP seront proposés comme objectifs de dépollution si l'analyse des risques résiduels indique que les risques sont acceptables. Comme la dépollution s'effectuera par excavation et traitement hors site et que les excavations seront comblées par de la scorie fraîche exempte de composés organiques, les concentrations après traitement en HAP, HCT et PCB seront nulles sur les zones traitées. Les concentrations à retenir en données d'entrée pour les analyses des risques résiduels prédictives sont donc recalculées sur cette base. Les nouvelles distributions statistiques après

dépollution sont présentées dans le tableau suivant. Il s'agit des niveaux de concentration à retenir pour les ARR prédictives.

	PCB(7) (mg/kg)	HCT (mg/kg)	HAP(16) (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)
SOLS SUPERFICIELS (0 – 0,2 m)						
Concentration maximale	0	0	0	0	0	0
SOLS tous les horizons confondus (*)						
Concentration médiane	0	70	0.07	<0.5	7	<10
Concentration moyenne	0.547	630	1.29	0.42	45.9	71.3
Concentration 95 ^{ème} centile	2.50	3995	4.71	2.33	235	470
Concentration maximale	19	9600	6	7	600	630

Distribution statistique des concentrations dans le sol des substances associées aux anomalies
 Situation après élimination des pollutions concentrées et mise en place d'une couverture de scories
 (*) Les concentrations présentées ne tiennent pas compte de l'apport de 30 cm de scories en surface

Les concentrations présentées pour les sols – tous horizons confondus, ne tiennent pas compte de l'apport de scories fraîches. Cette approche est conservatoire, car l'apport de scories indemnes de toute trace de pollution a pour effet d'abaisser les concentrations moyennes.

Si ces niveaux de concentration ne permettent pas d'obtenir la compatibilité pour l'usage prévu, ils seront révisés à la baisse. Par contre, même dans le cas où les critères de risque seraient largement acceptables, il n'est pas envisagé de relever les concentrations maximales qui constituent les objectifs de dépollution. Il ne nous paraît pas pertinent de laisser une concentration supérieure à 10 000 mg/kg d'hydrocarbures dans les sols, car au-delà de ce niveau de concentration, la maîtrise des impacts sur la qualité des eaux souterraines pourrait devenir problématique. Pour les HAP, il s'agit d'une pollution très ponctuelle, et l'enlèvement de la source concentrée permettra donc d'atteindre l'objectif de dépollution. Pour les PCB, il s'agit de sources ponctuelles et de faibles extensions, l'objectif pourra donc être atteint par enlèvement des parties les plus concentrées.

Nous constatons que l'application des seuils de dépollution proposés pour les hydrocarbures et les PCB permettra :

- une division par 7 de la concentration moyenne en PCB qui sera alors réduite à 0,55 mg/kg,
- une division par 25 de la concentration maximale en PCB
- une division par 2,4 de la concentration moyenne en hydrocarbures qui sera alors réduite à 630 mg/kg,
- une division par près de 4 de la concentration maximale en hydrocarbures.

7.1.2. - Scénario d'exposition

Le scénario d'exposition est un scénario à usage industriel. Seuls des adultes évolueront sur le site. Les paramètres associés à ce scénario sont les suivants.

Mode de fréquentation	Unités	Usage industriel
Durée de présence sur le site	Années	40
	Semaine/an	44
Fréquentation	h/j	8
	j/semaine	5

Fréquentation du site

Sur cette base, la fréquentation annuelle d'un adulte est de 220 jours, soit une fréquence de 0,603.

La durée de présence sur le site correspond à la durée de carrière. Certains modèles proposent une durée de 30 années de carrière, mais nous retiendrons 40 années pour rester conservatoire.

Trois cas seront considérés :

- le cas Bureau pour lequel nous considérerons une occupation de 8 heures par jour dans un local avec une hauteur en intérieur de 2,5 m,
- le cas Local Industriel pour lequel nous considérerons une occupation de 8 heures par jour dans un local avec une hauteur en intérieur de 3,5 m,
- le cas Activité Extérieure pour lequel nous considérerons une activité extérieure durant 8 heures par jour.

De façon volontaire, nous n'avons pas retenu de panachage entre les temps de travail extérieur et intérieur, pour pouvoir déterminer le scénario le plus pénalisant.

Les paramètres caractérisant les usagers du site sont les suivants :

Caractéristiques des usagers	Unités	Adulte
Poids corporel	kg	70
Durée de vie conventionnelle	années	70

Caractéristiques des usagers

Le poids corporel de 70 kg est le poids moyen pour une personne de plus de 20 ans (Source : Santé Canada).

La source de pollution est constituée par les sols impactés par l'activité.

Voie d'exposition par ingestion de sols

Le paramètre spécifique à la voie d'exposition par ingestion est la quantité de terres et de poussières ingérée par jour. Dans son guide pour l'évaluation des risques, l'US EPA propose comme valeur par défaut 50 mg par jour de sols et de poussières ingérés par un adulte dans un scénario industriel.

Caractéristiques du personnel	Unités	Adulte
Ingestion de sols travailleurs extérieurs	mg/j	50

Quantités de sols ingérés par jour

Dans le cas de l'option de gestion n°3 qui a été retenue, une couverture de scories fraîches empêche l'exposition par ingestion. Cette voie d'exposition ne sera donc pas retenue dans l'analyse des risques résiduels prédictive.

Voie d'exposition par contact cutané, inhalation de poussières

Dans le cas de l'option de gestion n°3 qui a été retenue, une couverture de scories fraîches empêche l'exposition par inhalation de poussières et par contact cutané. Ces voies d'exposition ne seront donc pas retenues dans l'analyse des risques résiduels prédictive.

Voie d'exposition par inhalation de vapeurs

Nous retiendrons comme voie d'exposition pertinente, l'inhalation de vapeurs.

Dans son guide pour l'évaluation des risques, l'US EPA les paramètres spécifiques suivants pour cette voie d'exposition. Nous retiendrons ces valeurs.

Caractéristiques des populations	Unités	Usage industriel
		Adultes
Volume respiratoire	m ³ /j	20
Poids corporel	kg	70

Caractéristiques de l'exposition par inhalation de vapeurs

7.2. - EVALUATION DU RISQUE PAR INGESTION DE SOLS

Note : L'exposition du risque par ingestion de sols n'est pas traitée dans le cadre de l'Analyse des Risques Résiduels prédictive, du fait de l'option de gestion retenue (couverture par des scories fraîches exemptes de pollution, donc suppression de l'exposition par cette voie). Elle a toutefois été évaluée dans le cadre de la hiérarchisation des anomalies, c'est pourquoi cette approche est présentée ici.

7.2.1. - Dose journalière d'exposition (DJE) et approche du risque

Les doses journalières d'exposition s'expriment par la relation suivante :

$$DJE_{ij} = \frac{C_i Q_{ij} T F}{P T_m}$$

où :

DJE : la dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie j (mg/kg/j) ;

C_i : la concentration d'exposition au milieu i (sol, eau souterraine, aliments...) (mg/kg, mg/m³ ou mg/l) ;

Q_{ij} : la quantité de milieu i administrée par la voie j par jour (kg/j pour les milieux solides et m³/j ou l/j pour les gaz ou liquides) ;

T : Durée d'exposition (années) ;

T_m : la période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années) ;

F : Fréquence d'exposition (nombre de jours d'exposition par an / 365) ;

P : poids corporel de la cible (kg).

Le quotient de danger est ensuite calculé pour les effets à seuil comme étant le rapport de la dose journalière d'exposition et de la VTR (valeurs toxicologiques de référence). Pour les effets sans seuil, les excès de risque individuel sont établis comme le produit de la dose d'exposition et de la valeur toxicologique de référence.

Les niveaux de risques sont calculés en pratiquant l'additivité des risques. Pour les effets à seuil, l'additivité doit être réalisée en distinguant les mécanismes d'action et les organes cibles. Pour les effets sans seuil, cette distinction ne se fait pas.

Dans une première approche, le calcul n'a pas été distingué en fonction des organes cibles, ce qui conduit à une majoration du risque par organe cible pour les effets à seuil. Quand la majoration est trop importante ou que le risque obtenu n'est pas acceptable, le calcul est renouvelé par organe cible et/ou en considérant les éventuelles dispositifs limitant le transfert.

Le mode de fréquentation du site et les caractéristiques du personnel sont ceux qui sont présentés dans le paragraphe précédent.

7.2.2. - Concentrations d'exposition au milieu sols

La concentration d'exposition à retenir doit être pertinente pour la voie d'exposition par ingestion. Seuls les sols de surface et les poussières en provenant sont susceptibles d'être ingérés. Il n'y a pas de transfert possible entre les sols profonds et les cibles pour le risque d'ingestion de sols et poussières.

La concentration maximale peut être retenue pour l'évaluation d'une source ponctuelle, mais quand il s'agit d'évaluer l'ensemble d'un site, elle apparaît comme trop conservatoire, car une personne n'évolue pas en permanence sur le même emplacement. La considération de la valeur moyenne peut par contre, conduire dans certains cas à une sous-estimation du risque. Il est considéré que la valeur au 95^{ème} centile constitue une valeur qui reste conservatoire, sans l'être de façon excessive.

7.3. - EVALUATION DU RISQUE PAR INHALATION DE VAPEURS

7.3.1. - Concentration d'exposition et approche du risque

Pour la voie respiratoire, le niveau d'exposition est généralement remplacé par la concentration inhalée. Pour des expositions de longue durée, la concentration moyenne inhalée par jour est retranscrite par la formule suivante :

$$CI = \frac{(\sum (C_i x t_i)) x F x T}{T_m}$$

où :

CI : concentration moyenne inhalée (mg/m³) ;

C_i : la concentration de contaminant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps t_i (mg/m³) ;

T_i : fraction du temps d'exposition à la concentration c_i pendant une journée ;

T : Durée d'exposition (années) ;

T_m : la période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années) ;

F : Fréquence d'exposition (nombre de jours d'exposition par an / 365) ;

Le quotient de danger est ensuite calculé pour les effets à seuil comme étant le rapport de la concentration moyenne inhalée et de la VTR (valeurs toxicologiques de référence). Pour les effets sans seuil, les excès de risque individuel sont établis comme le produit de la dose d'exposition et de la valeur toxicologique de référence.

Les niveaux de risques sont calculés en pratiquant l'additivité des risques. Pour les effets à seuil, l'additivité doit être réalisée en distinguant les mécanismes d'action et les organes cibles. Pour les effets sans seuil, cette distinction ne se fait pas.

Dans une première approche, le calcul n'a pas été distingué en fonction des organes cibles, ce qui conduit à une majoration du risque par organe cible pour les effets à seuil. Quand la majoration est trop importante ou que le risque obtenu n'est pas acceptable, le calcul est renouvelé par organe cible et/ou en considérant les éventuelles dispositifs limitant le transfert.

Le mode de fréquentation du site et les caractéristiques du personnel sont ceux qui sont présentés dans les paragraphes précédents.

7.3.2. - Concentrations d'exposition au milieu air

7.3.2.1. - Détermination de la concentration d'exposition

Aucune mesure de vapeurs du sol ou d'air ambiant n'a été réalisée dans le cadre du diagnostic. Les concentrations des gaz du sol proviennent d'une modélisation à partir des concentrations dans les sols (voir annexe 6).

Au niveau du sol impacté qui constitue la source d'émission de vapeurs, la concentration dans la phase gazeuse de chaque composé volatil présent dans le sol peut être calculée à partir des équations des lois des équilibres entre les sols et les gaz. Les concentrations à l'équilibre des gaz du sol constituent ensuite la donnée d'entrée dans les modèles de transfert pour la détermination des concentrations inhalées.

Comme précisé dans le paragraphe 5.1.2, trois cas sont envisagés dans le scénario de base :

- le cas Activité Extérieure pour lequel nous considérerons une activité extérieure durant 8 heures par jour,
- le cas Bureau pour lequel nous considérerons une occupation de 8 heures par jour dans un local avec une hauteur en intérieur de 2,5 m,
- le cas Local Industriel pour lequel nous considérerons une occupation de 8 heures par jour dans un local avec une hauteur en intérieur de 3,5 m.

Les concentrations d'exposition sont différentes pour chacun de ces cas.

Pour le cas de l'activité extérieure, les concentrations d'exposition dépendront du dégazage du sol, de la vitesse du vent et de la hauteur d'exposition qui est fixée à 1,5 m pour un adulte. Pour l'activité extérieure, il sera considéré une couverture de 30 cm de scories ne contenant pas de composés organiques.

Pour le cas du Bureau, les concentrations d'exposition dépendront des dispositions constructives (vide sanitaire, épaisseur et porosité des dalles, perméabilité à l'air, etc.), ainsi que de la ventilation des locaux. Il est considéré que, dans le local, l'air est convenablement brassé, la hauteur d'exposition est donc fixée à 2,5 m. Nous ne considérons pas de vide sanitaire dans ce scénario, et nous considérons qu'aucune couche de scories fraîches n'a été déposée en couverture des sols sous la dalle des bureaux. Il est considéré que les dispositions constructives sont des dispositions standards. Les données d'entrée sont présentées en annexe 6.

Pour le cas du Local Industriel, les concentrations d'exposition dépendront également des dispositions constructives ainsi que de la ventilation des locaux. Il est considéré que dans le local, l'air est convenablement brassé, et la hauteur d'exposition est donc fixée à 3,5 m. Dans le cadre du scénario de base, nous ne considérons pas de vide sanitaire, pas de sous-couche de scories fraîches et les dispositions constructives sont des dispositions standards. Les données d'entrée sont présentées en annexe 6.

7.3.2.2. - Concentrations retenues dans les sols

Pour l'évaluation du risque par inhalation, nous retiendrons les concentrations en composés volatils ou semi volatils des sols superficiels et des sols profonds.

Les concentrations des sols sont les concentrations au 95^{ème} centile présentées en §7.1.1.

Nous ne retenons pas la concentration maximale qui est trop conservatoire, car une personne n'évolue pas en permanence sur le même emplacement. La valeur au 95^{ème} centile constitue une valeur de référence qui reste conservatoire, sans l'être de façon excessive. Le tableau suivant présente les concentrations retenues dans les sols pour déterminer les concentrations dans les gaz du sol.

	PCB(7) (mg/kg)	HCT (mg/kg)	HAP(16) (mg/kg)
Concentration 95 ^{ème} centile	2.50	4000	4.71

Concentrations retenues dans les sols pour l'exposition par inhalation

Pour le cas de l'activité extérieure, nous considérons la présence d'une couche de 30 cm de scories fraîches exemptes de composés organiques en surface du sol.

Cas des PCB

En ce qui concerne les PCB, les valeurs toxicologiques de référence s'appliquent aux PCB totaux. Les mesures disponibles concernent les PCB(7). Selon l'INERIS (2006), les PCB(7) représentent environ 80% des PCB totaux. Pour être conservatoire, nous retiendrons comme concentration en PCB totaux, le double de la concentration en PCB(7).

La concentration retenue en PCB totaux pour les sols sera donc de 5,00 mg/kg.

Cas des HAP

En ce qui concerne les HAP, les valeurs toxicologiques de référence s'appliquent à chaque congénère individuellement. Les concentrations au 95^{ème} centile mesurées dans les sols pour chaque congénère sont présentées dans le tableau suivant.

	Naphtalène	Acénaphthylène	Acénaphtène	Fluorène	Phénanthrène	Anthracène
Conc. (mg/kg)	0.73	0.16	0	0.38	1.0	0.16
	Fluoranthène	Pyrène	Benzo(a) anthracène	Chrysène	Benzo(b) fluoranthène	Benzo(k) fluoranthène
Conc. (mg/kg)	0.79	0.72	0.41	0.37	0.62	0.28
	Benzo(a) pyrène	Dibenzo(ah) anthracène	Indéno(123-cd)pyrène	Benzo(ghi) pérylène		
Conc. (mg/kg)	0.39	0	0.32	0.29		

Concentrations en HAP retenues pour le risque par inhalation

Cas des Hydrocarbures

Les Valeurs Toxicologiques de Référence des hydrocarbures ont été définies par le TPHCWG pour certaines classes d'hydrocarbures. Il convient donc d'exprimer les concentrations en hydrocarbures totaux en fonction de ces classes. S'agissant pour l'essentiel d'hydrocarbures du type huile, nous retiendrons les proportions de ces classes pour le type huile. Le tableau suivant reprend ces proportions ainsi que les concentrations qui en découlent pour une concentration en hydrocarbures totaux de 4000 mg/kg correspondant au 95^{ème} centile des concentrations mesurées dans les sols, après élimination des concentrations supérieures à 10 000 mg/kg.

La prise en compte des proportions définies par le TPHCWG pour caractériser une huile est très pénalisante par rapport à la prise en compte des seules classes analysées en laboratoire, comme cela a été montré en §5.3.2.5. Cette approche est donc très conservatoire.

	Nombre d'atomes de carbone équivalent	Proportions dans une huile minérale (%)	Concentrations retenues (mg/kg)
Hydrocarbures aliphatiques	C>5 – C6	0	0
	C>6 – C8	0	0
	C>8 – C10	0.1	4
	C>10 – C12	0.3	12
	C>12 – C16	16	640
	C>16 – C35	70	2800
Hydrocarbures aromatiques	C>5 – C7	0	0
	C>7 – C8	0	0
	C>8 – C10	0.1	4
	C>10 – C12	0.1	4
	C>12 – C16	0.7	28
	C>16 – C21	8	320
	C>21 – C35	4.6	184

Concentrations en Hydrocarbures retenues pour le risque par inhalation

7.3.3. - Calcul du quotient de danger

Le quotient de danger du risque par inhalation est déterminé à partir des concentrations des substances, des paramètres d'exposition et des valeurs toxicologiques de référence.

Les trois tableaux suivants présentent les concentrations d'exposition et les quotients de danger qui en découlent pour les trois cas :

- activité extérieure
- activité de bureau
- activité en atelier.

7.3.3.1. - Activité extérieure

Dans le cas Activité extérieure, le quotient de danger est calculé pour un poste de travail constitué uniquement d'activités extérieures (soit 8 heures par jour travaillé).

N°CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/m3)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	Concentrations retenues dans l'air (mg/m3)	CI (mg/m3)	QD
	C8-C10 aliphatique	1	4	9.49E-04	1.91E-04	1.91E-04
	C10-C12 aliphatique	1	12	2.92E-03	5.87E-04	5.87E-04
	C12-C16 aliphatique	1	640	1.53E-01	3.08E-02	3.08E-02
	C8-C10 aromatique	0.2	4	9.49E-04	1.91E-04	9.53E-04
	C10-C12 aromatique	0.2	4	9.49E-04	1.91E-04	9.53E-04
	C12-C16 aromatique	0.2	28	2.12E-03	4.25E-04	2.13E-03
1336-36-3	PCB	5.00E-04	5	1.06E-06	2.13E-07	4.26E-04
91-20-3	Naphtalène	3.00E-03	0.73	3.20E-05	6.43E-06	2.14E-03

SOMME QD :	3.82E-02
-------------------	-----------------

Quotient de danger pour l'exposition par inhalation – activité extérieure

Le quotient de danger pour l'exposition par inhalation de l'activité en extérieur est de 0,038, ce qui est inférieur à 1. Les paramètres qui tirent le danger vers le haut sont les hydrocarbures aliphatiques C12-C16 (81%).

7.3.3.2. - Activité en bureau

Dans le cas Activité en bureau, le quotient de danger est calculé pour un poste de travail constitué uniquement d'activités en bureau (soit 8 heures par jour travaillé).

N°CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/m3)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	Concentrations retenues dans l'air (mg/m3)	CI (mg/m3)	QD
	C8-C10 aliphatique	1	4	4.16E-02	8.36E-03	8.36E-03
	C10-C12 aliphatique	1	12	1.24E-01	2.49E-02	2.49E-02
	C12-C16 aliphatique	1	640	1.97E+00	3.96E-01	3.96E-01
	C8-C10 aromatique	0.2	4	3.36E-02	6.75E-03	3.37E-02
	C10-C12 aromatique	0.2	4	6.13E-03	1.23E-03	6.16E-03
	C12-C16 aromatique	0.2	28	8.03E-03	1.61E-03	8.07E-03
1336-36-3	PCB	5.00E-04	5	4.13E-06	8.31E-07	1.66E-03
91-20-3	Naphtalène	3.00E-03	0.73	1.20E-04	2.41E-05	8.04E-03

SOMME QD :	4.87E-01
-------------------	-----------------

Quotient de danger pour l'exposition par inhalation – activité en bureau

Le quotient de danger pour l'exposition par inhalation de l'activité en extérieur est de 0,487 ce qui reste inférieur à 1. Les paramètres qui tirent le danger vers le haut sont les hydrocarbures aliphatiques C12-C16 (81%).

7.3.3.3. - Activité en atelier

Dans le cas Activité en atelier, le quotient de danger est calculé pour un poste de travail constitué uniquement d'activités dans l'atelier (soit 8 heures par jour travaillé).

N°CAS	Substances non cancérigènes	VTR (mg/m3)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	Concentrations retenues dans l'air (mg/m3)	CI (mg/m3)	QD
	C8-C10 aliphatique	1	4	7.23E-03	1.45E-03	1.45E-03
	C10-C12 aliphatique	1	12	2.04E-02	4.11E-03	4.11E-03
	C12-C16 aliphatique	1	640	2.41E-01	4.84E-02	4.84E-02
	C8-C10 aromatique	0.2	4	4.16E-03	8.36E-04	4.18E-03
	C10-C12 aromatique	0.2	4	8.03E-04	1.61E-04	8.07E-04
	C12-C16 aromatique	0.2	28	1.02E-03	2.05E-04	1.03E-03
1336-36-3	PCB	5.00E-04	5	5.09E-07	1.02E-07	2.04E-04
91-20-3	Naphtalène	3.00E-03	0.73	1.50E-05	3.01E-06	1.00E-03

SOMME QD :	6.12E-02
-------------------	-----------------

Quotient de danger pour l'exposition par inhalation – activité en atelier

Le quotient de danger pour l'exposition par inhalation de l'activité en extérieur est de 0,0612 ce qui est inférieur à 1. Les paramètres qui tirent le danger vers le haut sont les hydrocarbures aliphatiques C12-C16 (79%).

La différence de QD entre les activités en bureau et en atelier tient à l'épaisseur de la dalle, à la hauteur de plafond et à la ventilation qui sont plus importantes en atelier qu'en bureau.

7.3.4. - Calcul de l'excès de risque individuel

L'excès de risque individuel lié à l'exposition par inhalation est déterminé à partir des concentrations des substances, des paramètres d'exposition et des valeurs toxicologiques de référence.

Les trois tableaux suivants présentent les concentrations d'exposition et les ERI qui en découlent pour les trois cas :

- activité extérieure
- activité de bureau
- activité en atelier.

Le tableau suivant présente les doses journalières d'exposition et les excès de risques individuels qui en découlent.

7.3.4.1. - Activité extérieure

Dans le cas Activité extérieure, l'ERI est calculé pour un poste de travail constitué uniquement d'activités extérieures (soit 8 heures par jour travaillé).

N°CAS	Substances cancérigènes	VTR (µg/m3)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	Concentrations retenues dans l'air (µg/m3)	CI (µg/m3)	ERI
1336-36-3	PCB	1.00E-04	5	1.06E-03	1.22E-04	1.22E-08
91-20-3	Naphtalène	1.10E-06	0.73	3.20E-02	3.67E-03	4.04E-09
86-73-7	Fluorène	1.10E-06	0.38	8.10E-04	9.30E-05	1.02E-10
85-01-8	Phénanthrène	1.10E-06	1	4.40E-02	5.05E-03	5.56E-09
120-12-7	Anthracène	1.10E-05	0.16	3.90E-02	4.48E-03	4.93E-08
206-44-0	Fluoranthène	1.10E-06	0.79	1.30E-01	1.49E-02	1.64E-08
218-01-9	Chrysène	1.10E-05	0.37	1.30E-06	1.49E-07	1.64E-12
129-00-0	Pyrène	1.10E-06	0.72	4.10E-04	4.71E-05	5.18E-11
56-55-3	Benzo(a)anthracène	1.10E-04	0.41	2.90E-07	3.33E-08	3.66E-12
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	1.10E-04	0.62	1.30E-06	1.49E-07	1.64E-11
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	1.10E-04	0.28	3.10E-07	3.56E-08	3.91E-12
50-32-8	Benzo(a)pyrène	1.10E-03	0.39	4.00E-07	4.59E-08	5.05E-11
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)p.	1.10E-04	0.32	2.30E-10	2.64E-11	2.90E-15
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène	1.10E-05	0.29	3.20E-06	3.67E-07	4.04E-12

ERI Total	8.77E-08
------------------	-----------------

ERI pour l'exposition par inhalation – activité extérieure

Nous constatons que l'ERI est de $0.0088.10^{-5}$, ce qui reste inférieur à 1.10^{-5} pour la seule voie d'exposition par inhalation. Les substances qui tirent le risque vers le haut sont l'anthracène (56%), le fluoranthène (19%) et les PCB (14%).

7.3.4.2. - Activité en bureau

Dans le cas Activité en bureau, l'ERI est calculé pour un poste de travail constitué uniquement d'activités en bureau (soit 8 heures par jour travaillé).

N°CAS	Substances cancérogènes	VTR (µg/m3)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	Concentrations retenues dans l'air (µg/m3)	CI (µg/m3)	ERI
1336-36-3	PCB	1.00E-04	5	4.13E-03	4.75E-04	4.75E-08
91-20-3	Naphtalène	1.10E-06	0.73	1.20E-01	1.38E-02	1.52E-08
86-73-7	Fluorène	1.10E-06	0.38	2.70E-03	3.10E-04	3.41E-10
85-01-8	Phénanthrène	1.10E-06	1	1.70E-01	1.95E-02	2.15E-08
120-12-7	Anthracène	1.10E-05	0.16	3.00E-01	3.44E-02	3.79E-07
206-44-0	Fluoranthène	1.10E-06	0.79	5.10E-01	5.86E-02	6.44E-08
218-01-9	Chrysène	1.10E-05	0.37	9.90E-08	1.14E-08	1.25E-13
129-00-0	Pyrène	1.10E-06	0.72	3.30E-06	3.79E-07	4.17E-13
56-55-3	Benzo(a)anthracène	1.10E-04	0.41	2.30E-08	2.64E-09	2.90E-13
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	1.10E-04	0.62	2.30E-06	2.64E-07	2.90E-11
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	1.10E-04	0.28	2.40E-08	2.76E-09	3.03E-13
50-32-8	Benzo(a)pyrène	1.10E-03	0.39	1.10E-07	1.26E-08	1.39E-11
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)p.	1.10E-04	0.32	1.40E-10	1.61E-11	1.77E-15
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène	1.10E-05	0.29	2.60E-07	2.98E-08	3.28E-13

ERI Total	5.28E-07
------------------	-----------------

ERI pour l'exposition par inhalation – activité en bureau – scénario de base

Nous constatons que l'ERI est de $0.0528 \cdot 10^{-5}$, ce qui reste inférieur à $1 \cdot 10^{-5}$ pour la seule voie d'exposition par inhalation. Les substances qui tirent le risque vers le haut sont l'anthracène (72%) et le fluoranthène (12%).

7.3.4.3. - Activité en atelier

Dans le cas Activité en atelier, l'ERI est calculé pour un poste de travail constitué uniquement d'activités dans l'atelier (soit 8 heures par jour travaillé).

N°CAS	Substances cancérigènes	VTR (µg/m3)	Concentrations retenues dans les sols (mg/kg)	Concentrations retenues dans l'air (µg/m3)	CI (µg/m3)	ERI
1336-36-3	PCB	1.00E-04	5	5.09E-04	5.84E-05	5.84E-09
91-20-3	Naphtalène	1.10E-06	0.73	1.50E-02	1.72E-03	1.89E-09
86-73-7	Fluorène	1.10E-06	0.38	3.40E-04	3.90E-05	4.29E-11
85-01-8	Phénanthrène	1.10E-06	1	2.10E-02	2.41E-03	2.65E-09
120-12-7	Anthracène	1.10E-05	0.16	3.70E-02	4.25E-03	4.67E-08
206-44-0	Fluoranthène	1.10E-06	0.79	6.30E-02	7.23E-03	7.96E-09
218-01-9	Chrysène	1.10E-05	0.37	1.20E-08	1.38E-09	1.52E-14
129-00-0	Pyrène	1.10E-06	0.72	4.00E-07	4.59E-08	5.05E-14
56-55-3	Benzo(a)anthracène	1.10E-04	0.41	2.90E-09	3.33E-10	3.66E-14
205-99-2	Benzo(b)fluoranthène	1.10E-04	0.62	2.90E-07	3.33E-08	3.66E-12
207-08-9	Benzo(k)fluoranthène	1.10E-04	0.28	3.00E-09	3.44E-10	3.79E-14
50-32-8	Benzo(a)pyrène	1.10E-03	0.39	1.40E-08	1.61E-09	1.77E-12
193-39-5	Indeno(1,2,3-c,d)p.	1.10E-04	0.32	3.70E-11	4.25E-12	4.67E-16
191-24-2	Benzo(g,h,i)pérylène	1.10E-05	0.29	3.20E-08	3.67E-09	4.04E-14

ERI Total	6.51E-08
------------------	-----------------

ERI pour l'exposition par inhalation – activité en atelier – scénario de base

Nous constatons que l'ERI est de $0.0065 \cdot 10^{-5}$, ce qui reste inférieur à $1 \cdot 10^{-5}$ pour la seule voie d'exposition par inhalation. Les substances qui tirent le risque vers le haut sont l'anthracène (72%) et le fluoranthène (12%).

7.4. - ANALYSES DES RISQUES RESIDUELS

7.4.1. - Stratégie de l'étude

La localisation des bâtiments n'est pas définitivement fixée, il n'est pas exclu qu'elle puisse encore évoluer au cours du projet.

Pour envisager tous les cas possibles, l'analyse des risques résiduels se base ici sur une activité de type « bureau », une activité de type « plein air » et une activité de type « atelier » pour 100% du temps professionnel.

Cette approche a été préférée à un panachage entre les types d'activité car elle permet de déterminer si un type d'activité est susceptible de s'avérer incompatible avec la qualité des sols.

Le budget espace temps retenu pour les calculs de risque est celui d'une activité industrielle :

- présence durant 40 années, 220 jours par an, 8 heures par jour
- adultes de 70 kg

L'option de gestion évaluée correspond à la situation actuelle avec élimination des pollutions concentrées :

- à plus de 10 000 mg/kg pour les hydrocarbures totaux
- à plus de 20 mg/kg pour les PCB(7),
- élimination des HAP du parc à boues.

Pour le cas de l'activité de plein air, il a été considéré que les sols actuels sont recouverts de 30 cm de scories fraîches exemptes de pollution.

Pour le cas de l'activité de bureau ou en atelier, des dispositions standards ont été considérées, sans vide sanitaire (voir annexe 6).

Les concentrations d'exposition ont été modélisées. Le détail de ces modèles est présenté en annexe 6.

7.4.2. - Synthèse des résultats des calculs de risque

Les doses journalières d'exposition et les concentrations d'exposition ont été calculées pour les 3 cas du scénario d'exposition pour les expositions par inhalation de vapeurs. Les expositions par ingestion et inhalation de poussières ne sont pas prises en compte du fait de la mise en place d'une couverture de scories qui empêche ces expositions.

Les risques sont considérés comme acceptables quand :

- la somme des quotients de danger de toutes les voies d'exposition est inférieure à 1,
- la somme des excès de risque individuels de toutes les voies d'exposition est inférieure à 10^{-5} .

La mise en place d'une couverture de 30 cm de scories sur les sols existants supprime les expositions par ingestion de sols et inhalation de poussières pour le personnel évoluant sur le site. Les quotients de danger et excès de risques individuels sont donc nuls pour ces voies d'exposition.

	Quotients de danger			Excès de risques individuels		
	QD ingestion/ inhalation poussières	QD inhalation vapeurs	Somme QD	ERI ingestion / inhalation poussières	ERI inhalation vapeurs	Somme ERI
Activité extérieure	0	0.0382	0.0382	0	$0.00877.10^{-5}$	$0.0088.10^{-5}$
Activité bureau	0	0.487	0.487	0	$0.0528.10^{-5}$	$0.0528.10^{-5}$
Activité atelier	0	0.0612	0.0612	0	$0.00651.10^{-5}$	$0.0065.10^{-5}$

Résultats de l'analyse des risques résiduels

Le tableau des résultats de l'analyse des risques résiduels indique que pour les 3 cas du scénario de base étudiés dans cette étude :

- le quotient de danger est inférieur à 1
- l'ERI est inférieur à 10^{-5}

Le risque reste donc acceptable pour les trois types d'activité, pour les seuils de dépollution examinés. Le panachage entre les activités produira un risque inférieur et donc également acceptable.

7.4.3. - Mesures complémentaires pouvant être mises en œuvre

Le risque calculé est acceptable, mais il apparaît que des mesures simples peuvent le réduire d'avantage.

Une mesure pourrait consister à placer les bureaux sur une zone présentant des concentrations plus faibles en hydrocarbures, sachant que les aliphatiques C12-C16 sont les substances qui tirent le risque vers le haut pour cette activité.

7.4.4. - Discussion relative aux incertitudes

Incertitudes liées à l'acquisition des données

Les programmes d'investigation et d'échantillonnage ont été établis sur la base des connaissances sur le site, et notamment de son historique et de son mode de fonctionnement.

La stratégie mise en place a permis de caractériser la pollution du point de vue chimique.

Des incertitudes sont naturellement présentes lors de la réalisation de ces travaux (hétérogénéité des sources de pollution, représentativité des échantillons, pertes lors des prélèvements, conservation des échantillons, analyses).

Incertitudes liées aux valeurs toxicologiques

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) sont empreintes de grandes incertitudes qui sont liées à la difficulté de leur établissement. Certaines valeurs ont été établies sur des populations humaines lors d'enquêtes épidémiologiques, d'autres ont été établies sur des espèces animales lors d'essais de laboratoire.

L'extrapolation à l'homme dans son environnement général se fait en appliquant des facteurs de sécurité qui sont mentionnés dans cette étude. Ces facteurs de sécurité peuvent atteindre plusieurs ordres de grandeur selon le mode de détermination de la VTR.

Les facteurs d'incertitude intègrent également la durée des études, la sévérité des effets constatés, les voies d'absorption, etc.

Plusieurs valeurs toxicologiques peuvent également être déterminées par des organismes différents, pour une même substance. Dans ce cas, le choix de la VTR a été effectué suivant les recommandations de l'INERIS. De la même façon, certaines substances ne disposent pas de VTR. Enfin, les VTR ne tiennent pas compte des effets combinés de l'association de plusieurs substances dans un « cocktail » chimique.

Incertitudes liées aux modèles d'exposition

Un modèle est une représentation mathématique de la réalité. La modélisation nécessite la prise d'hypothèses qui sont autant de facteurs d'incertitudes. Par ailleurs, les mécanismes de transfert de substances dans les milieux ne sont jamais parfaitement connus, du fait de l'hétérogénéité de ces milieux, qu'il s'agisse des milieux air, sols ou eaux.

Les modèles traduisent donc des moyennes statistiques. Ils doivent être calés sur des mesures pour approcher au mieux la réalité selon les observations de terrain.

En particulier, l'exposition par inhalation a été prise en compte par la modélisation des concentrations en gaz du sol, puis par la modélisation des transferts vers les cibles.

Des incertitudes sont liées à la nature exacte des PCB du site, ceux-ci n'ayant été déterminés que sur la base des 7 PCB indicateurs. Pour cette raison, les concentrations mesurées en PCB indicateurs ont été multipliées par 2 pour quantifier les PCB totaux.

Des dispositions conservatoires ont été systématiquement considérées dans les modèles pour s'affranchir des incertitudes.

Incertitudes spécifiques au site

En particulier pour ce site qui a été remblayé à une époque où les préoccupations environnementales n'étaient pas encore effectives (avant 1977), et qui a ensuite été exploité pour l'exercice de différentes activités dont la valorisation de déchets, le stockage de pièces et de matières premières, il n'est pas exclu que des zones temporaires de stockage de déchets aient pu échapper à l'étude documentaire, ces zones de stockage n'étant jamais reportées sur les cartes et plans de masse. Par ailleurs, l'étude documentaire a signalé qu'au niveau de la zone de remblaiement de la plateforme industrielle, les épaves qui étaient échouées ont été conservées sur place, sans que l'on puisse déterminer les conséquences possibles liées à la présence de ces épaves sur la qualité des eaux souterraines au droit du site.

Concernant les PCB, ceux-ci ont été recherchés dans la zone qui a été désignée comme ayant accueilli des opérations de transvasement de PCB depuis des transformateurs vers des fûts. Du fait de leur présence avérée dans cette zone, ils ont également été recherchés sur l'ensemble du périmètre du site à titre de vérification. La grande quantité de sondages et d'analyses réalisées permet de réduire considérablement les incertitudes sur la dispersion de ces composés sur le site.

Concernant la qualité des eaux souterraines, la mauvaise productivité des piézomètres qui ont été installés dans le cadre de l'étude a été à l'origine de doutes sur les concentrations en métaux des eaux souterraines. De ce fait, les ouvrages destinés à la surveillance des effets de la future centrale ont été réalisés dans le cadre de l'étude pour compléter les mesures existantes et lever les doutes sur la qualité des eaux souterraines. Ces ouvrages productifs ont permis de constater l'absence d'impact sur la qualité des eaux souterraines. Ces ouvrages ont également permis de lever les doutes sur d'éventuels transferts de composés organiques vers le milieu marin.

Une incertitude majeure subsistait sur la présence de surnageant sur les eaux souterraines dans la zone polluée aux hydrocarbures. Cette incertitude a été levée par l'excavation de terres qui ont permis de découvrir les eaux souterraines. Aucune trace de surnageant ne s'est formé depuis les

fonds de la fouille, ce qui permet de conclure que c'est bien l'ouvrage qui a traversé les terres polluées qui a provoqué la formation de surnageant.

Les directions des écoulements souterrains de substances denses sur les fonds argileux ont été déduites des données disponibles sur les sondages profonds qui ont rencontrés ce substratum. La présence d'anciens chenaux, artificiels ou naturels, ou de dépressions singulières, n'a pu être appréhendée.

Certains composés volatils comme les COHV, n'ont pas été systématiquement recherchés dans les sols. Ils ont par contre été recherchés dans les eaux souterraines, ce qui a permis de s'assurer qu'ils n'étaient pas problématiques pour ce site.

8. - CONCLUSIONS

Le diagnostic de la qualité des sols du site de la future centrale de Doniambo a référencé des anomalies de la qualité des sols, ainsi qu'un impact sur la qualité des eaux souterraines. Les eaux souterraines n'ont aucun usage dans le secteur d'étude, elles sont saumâtres.

Les anomalies concernent des métaux ainsi que des hydrocarbures, PCB et HAP.

- Les anomalies en métaux sont diffuses, peu significatives, et surtout situées au droit du parc à ferrailles.
- Les anomalies en hydrocarbures sont diffuses, avec présence d'une pollution concentrée au sud-est du parc à boues.
- Les anomalies en HAP concernent essentiellement une pollution concentrée ponctuelle au droit du parc à boues.
- Les PCB ont été mesurés en concentrations significatives sur quelques points distincts situés dans une ancienne zone de dépotage de transformateurs.

La méthodologie prévoit l'élimination des pollutions concentrées. Dans le cas du site de la future centrale de Doniambo, il s'agit :

- de la pollution concentrée aux HAP,
- de la pollution concentrée aux PCB,
- de la pollution concentrée aux hydrocarbures.

Ces pollutions doivent être éliminées. Du fait du calendrier industriel du site, l'élimination devra se faire par excavation avec traitement hors site.

Trois options de remise en état ont été évaluées. Il s'agit :

- de l'option 1 qui consiste à supprimer toutes les anomalies
- de l'option 2 qui consiste à ne supprimer que les pollutions concentrées (hydrocarbures, HAP, PCB)
- de l'option 3 qui consiste à supprimer les pollutions concentrées (hydrocarbures, HAP, PCB) et recouvrir le site d'une couche de scories exemptes de pollution pour supprimer les expositions par ingestion et inhalations de poussières

Le bilan coûts-avantages indique qu'il n'est pas raisonnable d'envisager le traitement de toutes les anomalies du site, car :

- le bilan environnemental serait mauvais du fait de l'excavation de 100 000 m³ de scories de leur traitement, et du transport hors site d'une grande part de ce volume pour l'élimination en installation de stockage, saturant ainsi les capacités du territoire,
- le bilan social serait mauvais du fait de la circulation des milliers de camions nécessaires à l'évacuation des terres et à la saturation des décharges existantes avec nécessité de créer de nouvelles capacités de stockage,
- le coût économique serait de l'ordre de 2,23 milliard XPF,
- du fait de son environnement, le site sera soumis à rester un site industriel, sans aucune valeur écologique supplémentaire (zone de remblais).

Le tableau suivant synthétise le bilan coût avantages des trois options évaluées.

Option	Coûts estimés (XPF)	Avantages	Inconvénients
Option 1	2 230 000 000	Suppression des sources Pas de servitudes	Coût Saturation des capacités des installations de stockage de déchets Circulation de poids lourds sur le territoire Emission importante de CO ₂ en phase chantier
Option 2	90 000 000 à 410 000 000	Coût	Maintien de sources et servitudes Exposition par inhalation de poussières et ingestion possible Servitude
Option 3	= Option 2 + 13 000 000	Suppression des expositions par inhalation de poussières et ingestion	Maintien de sources et servitudes

Le coût de l'option 2 est compris entre 90 et 410 millions XPF selon les seuils de dépollution qui seront retenus pour les hydrocarbures et les HAP.

L'option de gestion retenue est une solution visant à éliminer les pollutions concentrées en composés organiques (HCT, HAP, PCB) et à confiner l'ensemble du site avec des scories fraîches. Ce confinement permet la suppression des expositions par contact direct, ingestion et inhalation de poussières. En comparaison à la solution d'élimination de toutes les pollutions, cette solution présente :

- un bilan environnemental positif du fait de la remise en état d'une zone de remblaiement historique, principalement par valorisation énergétique des hydrocarbures,
- un coût de plus de 5 fois moindre que l'option d'élimination de toutes les pollutions pour un résultat équivalent en termes de possibilités d'occupation du site,
- l'avantage de mettre à disposition le site dans des délais compatibles avec sa valorisation pour un usage industriel dans le cadre du projet de construction de la centrale électrique,
- une logique avec la réalité technique qui ne permet pas le retour à l'état « 0 ».

Un bilan de masse a été effectué pour déterminer l'évolution des coûts de remise en état en fonction des seuils de dépollution qui seront retenus. Les résultats du bilan de masse sont présentés dans le tableau suivant.

Seuils de dépollution mg/kg	Quantité de terre de la tranche (t)	Coût total (millions XPF)	Masse totale de polluant extraite (kg)	Masse de polluant extraite pour la tranche (kg)	Coût unitaire de traitement de la tranche (XPF/kg)
HCT - 10 000	1 860	19,16	27 900	27 900	687
HCT - 5 000	2 865	48,67	49 388	21 488	1 373
HCT - 2 000	21 525	270,38	124 726	75 338	2 943
PCB - 20	585	70,38	59	59	1 203 000
PCB - 10	1 170	140,75	77	18	4 010 000

Nous constatons que les coûts unitaires exprimés en XPF par kg de polluant extrait augmentent sensiblement quand les seuils de dépollution diminuent. Pour les hydrocarbures, les coûts unitaires doublent quand le seuil de dépollution passe de 10 000 à 5 000 mg/kg, simultanément, le coût de traitement est multiplié par un facteur 2,5. Pour les PCB, quand le seuil de dépollution

passé de 20 à 10 mg/kg, le coût unitaire est plus que triplé et atteint 4 millions XPF par kg de PCB extrait.

Du fait du maintien de sols impactés sur place, une analyse des risques résiduels (ARR) a été réalisée, en s'appuyant sur l'hypothèse de l'élimination des pollutions concentrées, pour une utilisation industrielle du site. Comme les coûts augmentent beaucoup plus vite que les avantages produits, il a été décidé de réaliser l'ARR sur la base des seuils de dépollution suivants :

- Hydrocarbures : 10 000 mg/kg
- PCB(7) : 20 mg/kg

L'ARR a été réalisée pour 3 cas susceptibles de concerner le site, à savoir :

- une activité extérieure,
- une activité de bureau,
- une activité en atelier.

Dans les trois cas, l'ARR indique que les risques sont acceptables (quotient de danger inférieur à 1 et excès de risque individuel inférieur à 10^{-5}) pour les expositions par inhalation de vapeurs. Cette option de gestion est donc acceptable au sens de la méthodologie nationale car elle permet de rendre le site compatible avec l'usage industriel.

Concernant la pollution des eaux souterraines, l'ouverture d'une excavation dans la zone polluée du PZ10 a permis de constater qu'après écrémage, aucune phase de flottant ne se formait au miroir de l'eau. Les eaux souterraines pourront donc être traitées par simple écrémage après excavation des sols pollués.

Une surveillance des eaux souterraines sera à mettre en place pour ce site. Le réseau de surveillance a déjà été constitué, il est composé de 5 ouvrages réalisés en septembre 2015 et est complété par un ouvrage existant (P13). Les piézomètres du réseau de surveillance sont présentés en figure 7.

L'ouvrage P13 de la SLN sera exploité uniquement pour la mesure du niveau de nappe, de façon à disposer, pour chaque campagne de mesure, d'informations complémentaires relatives aux directions d'écoulement grâce à cet ouvrage un peu plus éloigné du site.

Les substances proposées pour le suivi sont les métaux (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb), les hydrocarbures totaux, les HAP, les PCB, les solvants chlorés (COHV), avec mesure du pH, de la conductivité et de la profondeur de l'eau par rapport au haut du capot sur site. Les points de référence (haut du capot) devront être nivelés. Les prélèvements devront être faits après purge préalable de l'ouvrage. La fréquence de suivi devra être au moins semestrielle.

Le suivi des COHV pourra être arrêté au terme de deux années de suivi, si aucune anomalie n'est observée.

Comme des concentrations résiduelles sont laissées en place, il convient également d'établir une servitude pour garder la mémoire de ces concentrations, et empêcher la modification de l'usage sans que la compatibilité des terrains avec un éventuel nouvel usage ne soit évaluée.

FIGURES HORS TEXTE

Figure 1 : Localisation du site



Figure 2 : Contexte géologique

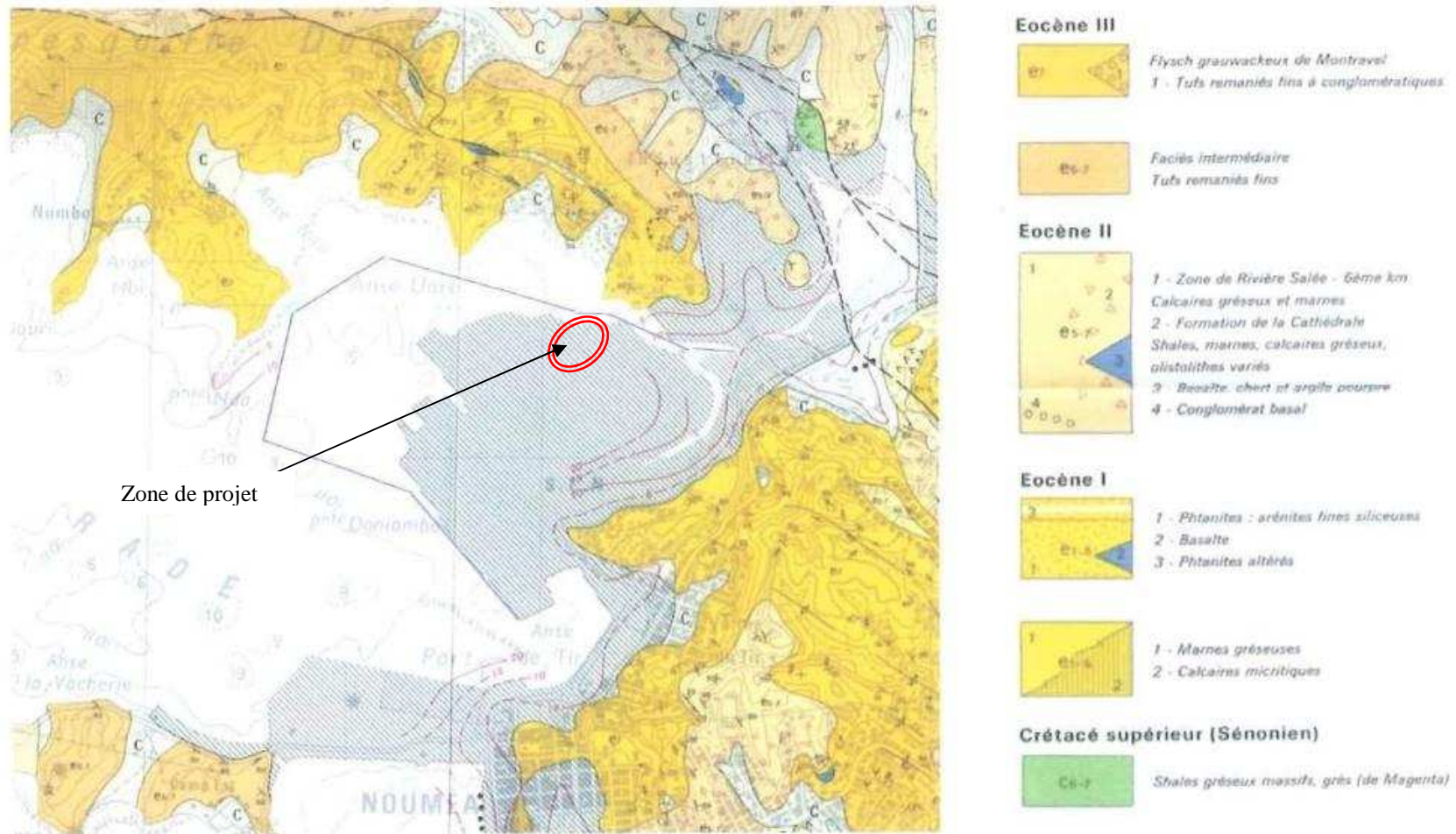


Figure 3a : Localisation des piézomètres du site SLN + piézomètres provisoires



En rouge les piézomètres du site SLN, en bleu les piézomètres spécifiques au diagnostic de la centrale C

Figure 3b : Localisation des piézomètres du site SLN + piézomètres définitifs



En rouge les piézomètres du site SLN, en bleu les piézomètres spécifiques au diagnostic de la centrale C

Figure 4 : Plans de localisation des sondages

Page 1 :

- Représentation de l'ensemble du maillage 40 x 40 de la campagne de novembre 2013 : les numéros de sondage sont désignés par leurs coordonnées dans le maillage
- Sondages de mai 2014
- Sondages de juillet 2014

Page 2 :

- Vue de détail de la zone G5 – J7 et localisation des sondages des campagnes de novembre 2013, mai 2014 et juillet 2014

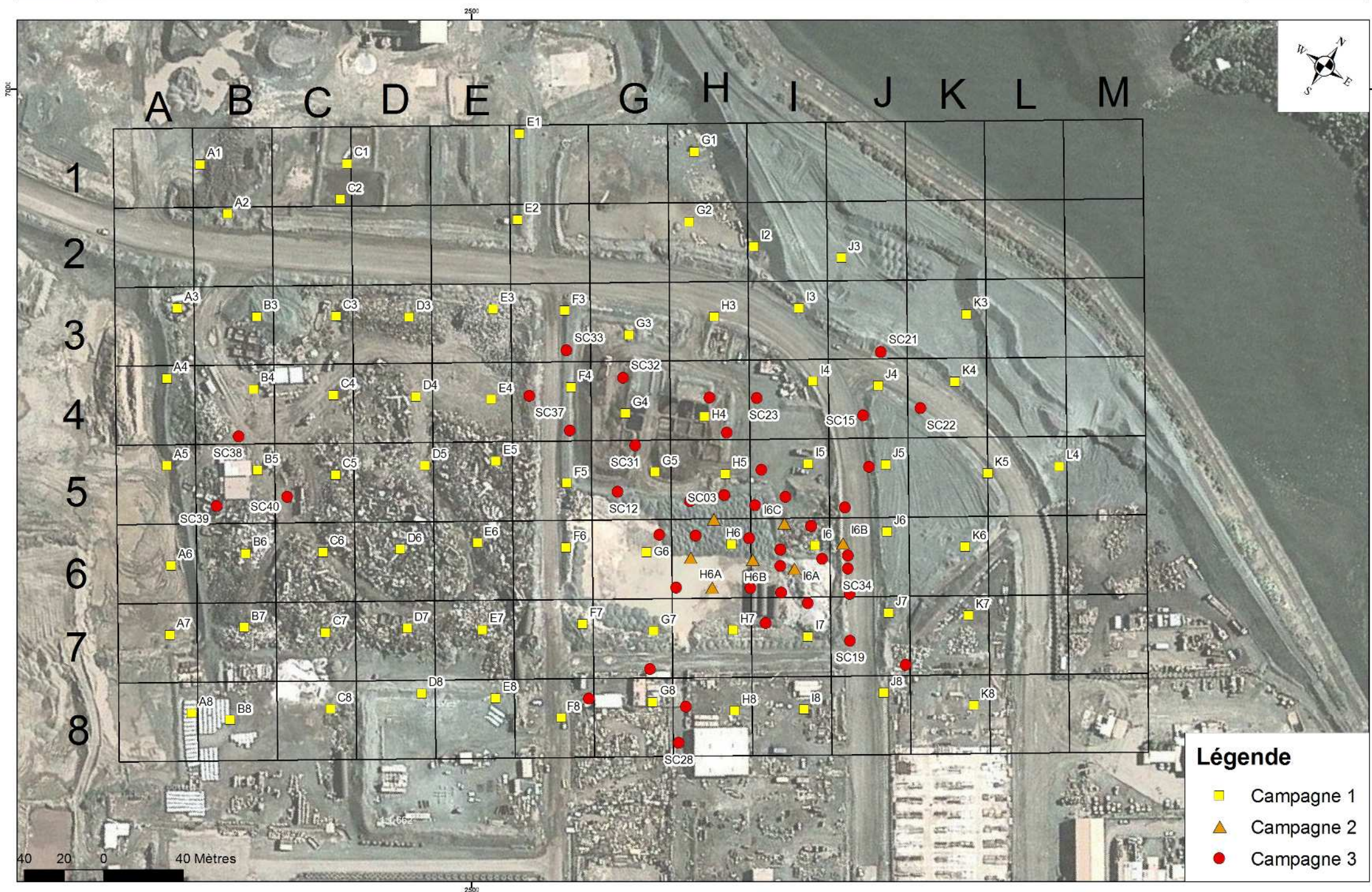
Page 3 :

- Vue de détail de la zone H6 – I7 et localisation des sondages des campagnes de 2013 et 2014

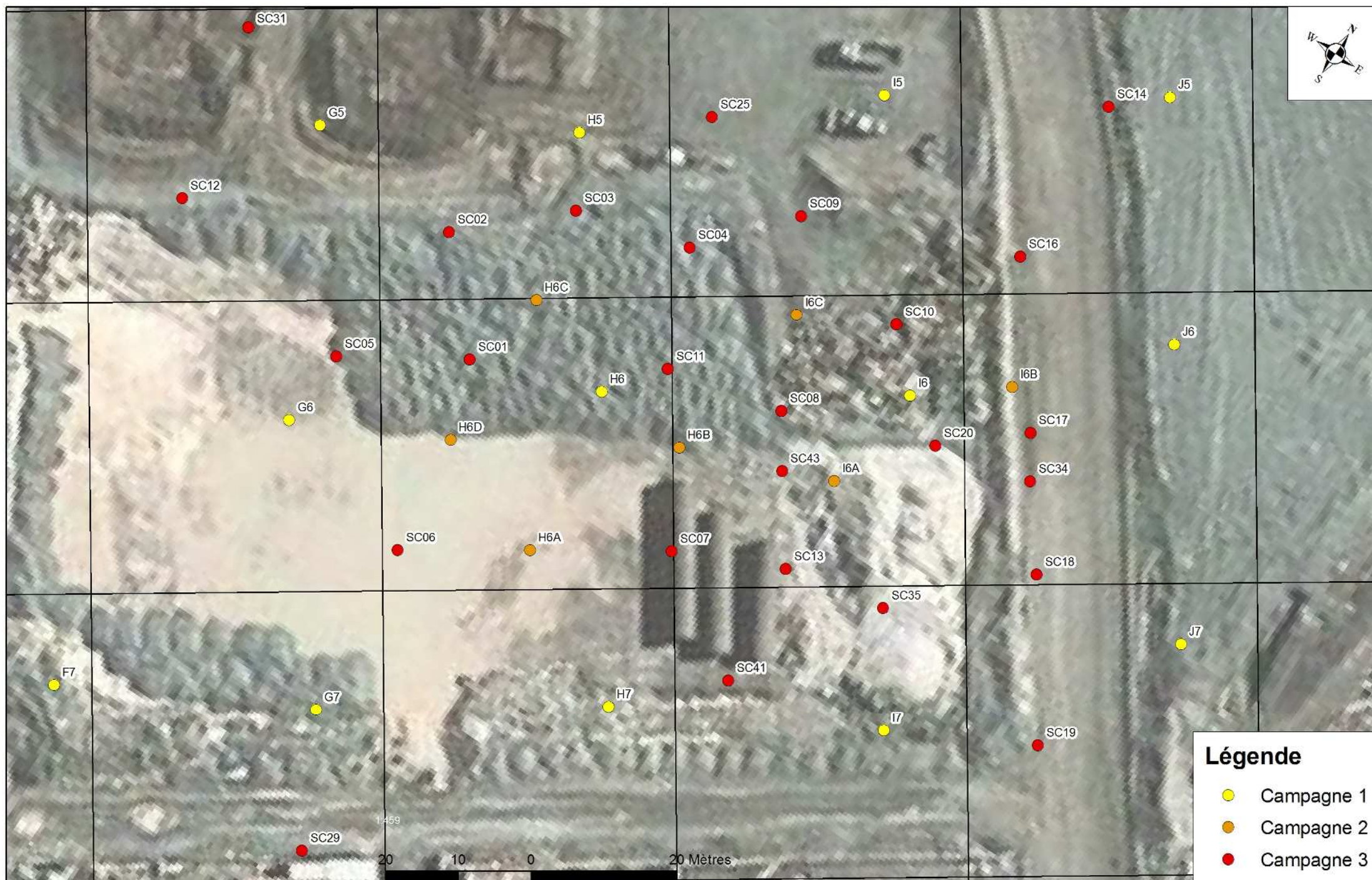
Page 4 :

- Localisation des sondages 300 de la campagne de 2015

Localisation des points de sondages

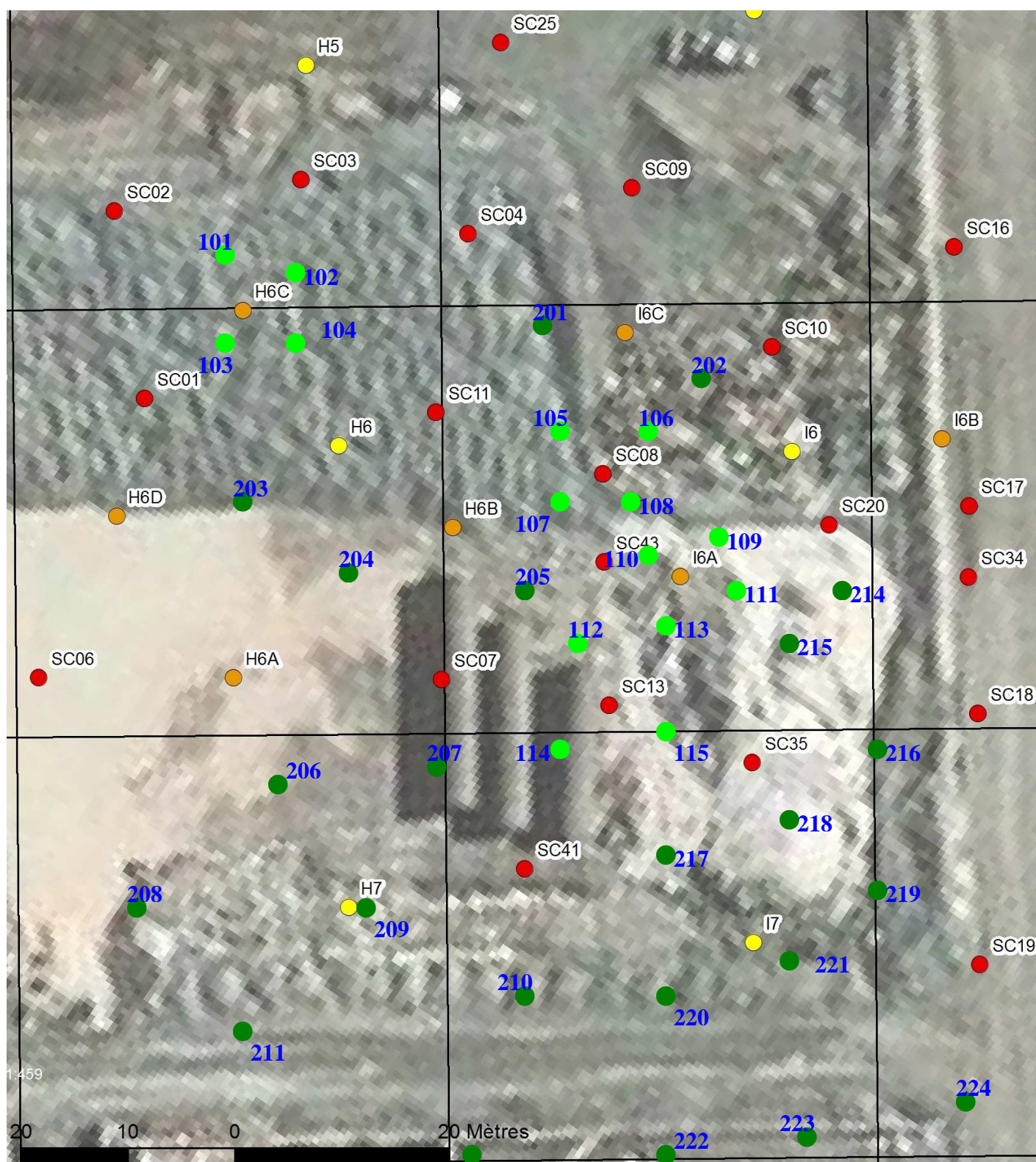


Localisation des points de sondages



Légende

- Campagne 1
- Campagne 2
- Campagne 3



- Campagne 11/2013
- Campagne 05/2014
- Campagne 07/2014
- Campagne 09/2014

212

213

225

226

Figure 4d : Localisation des sondages de la série 300 (campagne de 2015)



Pour les zones à forte densité de points, des zooms sont présentés dans le texte

Figure 5a : Localisation des piézomètres provisoires du secteur d'étude



Figure 5b : Localisation des piézomètres définitifs du secteur d'étude



Figure 6 : Localisation des anomalies

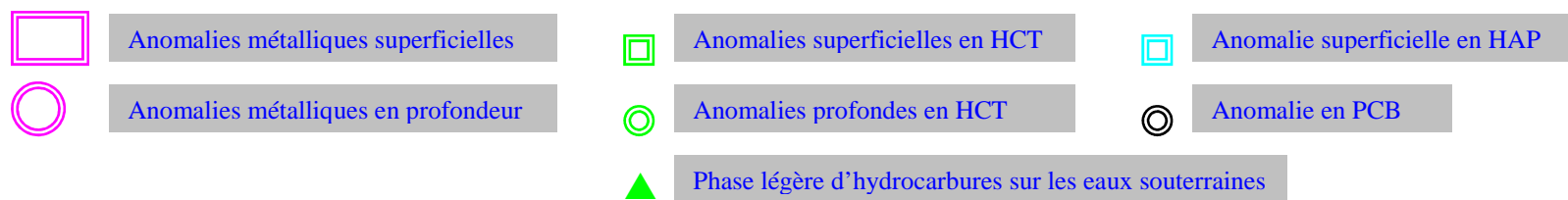


Figure 7 : Proposition de réseau de surveillance des eaux souterraines

