

# *Plan de Gestion des impacts sur le sous-sol*

## *Ancienne usine Azur Chimie et parcelles cadastrales 167 à 174*

*Port de Bouc (13)*

*Juillet 2015*

*A 80381 /A*



**REGION P.A.C.A.**  
**DEPARTEMENT DES BOUCHES DU RHONE**  
**COMMUNE DE PORT DE BOUC**  
Service des Marchés Publics  
Hôtel de Ville  
Cours Landrivon - BP 201  
13528 PORT DE BOUC Cedex

*Présenté par :*



Région Rhône-Alpes Méditerranée



**ENVIRONNEMENT**

Parc Napollon Bât. C  
400, avenue du Passe-Temps  
13676 AUBAGNE Cedex  
Tél. : 04 42 08 70.70  
Fax. : 04 42 08 70 71

# Sommaire

	Page
<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>2</b>
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....</b>	<b>6</b>
1.1. CADRE DE L'ETUDE.....	6
1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	7
<b>2. DESCRIPTION DES SITES ET ETUDES HISTORIQUES .....</b>	<b>8</b>
2.1. DESCRIPTION DES SITES DANS LEUR ETAT ACTUEL .....	8
2.2. HISTORIQUE ET ACTIVITES DE LA ZONE D'ETUDE .....	9
2.2.1. <i>Evolution du site</i> .....	9
2.2.2. <i>Activités du site avant sa démolition</i> .....	13
<b>3. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL.....</b>	<b>17</b>
3.1. TOPOGRAPHIE .....	17
3.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE .....	17
3.2.1. <i>Contexte géologique régional</i> .....	17
3.2.2. <i>Contexte géologique local</i> .....	17
3.2.3. <i>Prospection géophysique – société Géolithe (août 2002)</i> .....	18
3.3. CONTEXTE HYDROLOGIQUE.....	19
3.3.1. <i>Réseau Hydrographique</i> .....	19
3.3.2. <i>Usages des eaux superficielles</i> .....	19
3.4. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE .....	20
3.4.1. <i>Aquifère</i> .....	20
3.4.2. <i>Profondeur</i> .....	20
3.4.3. <i>Sens d'écoulement</i> .....	20
3.4.4. <i>Caractéristique de l'aquifère</i> .....	20
3.4.5. <i>Usage de l'aquifère</i> .....	20
3.5. ZONES REMARQUABLES OU PROTEGEES.....	21
<b>4. ACTIVITES POTENTIELLEMENT POLLUANTES VOISINES.....</b>	<b>22</b>
4.1. ACTIVITES VOISINES REPERTORIEES DANS LA BASE DE DONNEES BASIAS .....	22
4.2. ACTIVITES VOISINES REPERTORIEES DANS LA BASE DE DONNEES BASOL.....	24
<b>5. DESCRIPTION DES IMPACTS .....</b>	<b>25</b>
5.1. SYNTHESE DES INVESTIGATIONS REALISEES SUR LA ZONE D'ETUDE .....	25
5.2. IMPACTS SUR LES SOLS.....	26
5.2.1. <i>Référentiel</i> .....	26
5.2.2. <i>Description des impacts</i> .....	26
5.3. IMPACTS SUR LES EAUX SOUTERRAINES .....	33
5.3.1. <i>Référentiel</i> .....	33
5.3.2. <i>Description des impacts</i> .....	33
5.4. IMPACTS SUR LES GAZ DE SOL.....	35
5.4.1. <i>Référentiel</i> .....	35
5.4.2. <i>Description des impacts</i> .....	35
<b>6. SCHEMA CONCEPTUEL .....</b>	<b>36</b>
6.1. DEFINITION .....	36
6.2. IDENTIFICATION DES ZONES SOURCES.....	36
6.2.1. <i>Impacts en métaux</i> .....	36
6.2.2. <i>Impacts en solvants halogénés et fongicides</i> .....	37

6.2.3.	<i>Impacts en hydrocarbures et hydrocarbures Aromatiques Polycycliques</i> .....	39
6.3.	USAGES SUR SITE .....	39
6.4.	IDENTIFICATION DES VOIES DE TRANSFERT ET VOIES D'EXPOSITION .....	39
6.5.	IDENTIFICATION DES ENJEUX A PROTEGER .....	41
6.6.	MODALITES DE GESTION ENVISAGEES .....	41
6.6.1.	<i>Seuils de réhabilitation</i> .....	41
6.6.2.	<i>Volumes de sols impactés</i> .....	42
<b>7.</b>	<b>TECHNIQUES DE REHABILITATION ENVISAGEABLES</b> .....	<b>44</b>
7.1.	SOLUTIONS NON RETENUES .....	44
7.2.	EXCAVATION (SOLS) .....	45
7.3.	TRAITEMENT HORS SITE (SOLS) .....	45
7.3.1.	<i>Transport</i> .....	45
7.3.2.	<i>Traitement en centre agréé</i> .....	46
7.4.	CONFINEMENT PAR RECOUVREMENT (SOLS) .....	48
7.5.	CONFINEMENT PAR ENCAPSULATION (SOLS) .....	49
7.6.	DESORPTION THERMIQUE IN-SITU (SOLS) .....	50
7.7.	EXTRACTION DOUBLE PHASE (SOLS ET NAPPE) .....	51
7.8.	SOIL MIXING (SOLS ET NAPPE) .....	52
7.9.	POMPAGE TRAITEMENT (NAPPE) .....	53
7.10.	CONFINEMENT VERTICAL (NAPPE) .....	54
7.11.	CONFORTEMENT DE BERGE .....	55
7.12.	BILAN COUTS - AVANTAGES .....	56
<b>8.</b>	<b>MESURES CONSTRUCTIVES ENVISAGEABLES</b> .....	<b>62</b>
8.1.	OBJECTIFS .....	62
8.2.	ENJEUX DES MESURES CONSTRUCTIVES .....	62
8.3.	MESURES POUR PREVENIR L'INTRUSION DES SUBSTANCES VOLATILES DANS LE BATI .....	62
8.3.1.	<i>Mise en place d'un vide sanitaire</i> .....	62
8.3.2.	<i>Etanchéification des dalles du rez de chaussée</i> .....	63
8.3.3.	<i>Mise en surpression d'un bâtiment</i> .....	64
8.3.4.	<i>Mise en dépression ou en surpression d'un vide sanitaire</i> .....	64
8.3.5.	<i>Mise en place d'un drainage des gaz du sol</i> .....	65
8.4.	MESURES POUR LIMITER L'ACCUMULATION DES SUBSTANCES VOLATILES DANS UN BATIMENT .....	67
8.5.	MESURES POUR PREVENIR L'INTRUSION DES SUBSTANCES VOLATILES DANS LES RESEAUX .....	67
<b>9.</b>	<b>RESTRICTIONS D'USAGE ENVISAGEABLES</b> .....	<b>69</b>
9.1.	RESTRICTIONS D'USAGE POUR LES SOLS .....	69
9.2.	RESTRICTIONS D'USAGE POUR LES EAUX SOUTERRAINES .....	69
<b>10.</b>	<b>PLAN DE GESTION PROPOSE</b> .....	<b>70</b>
10.1.	REORIENTATION DES AMENAGEMENTS .....	70
10.2.	TRAVAUX DE DEPOLLUTION ET CONFINEMENT .....	71
10.3.	DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES .....	75
10.4.	RESTRICTION D'USAGE .....	76
10.5.	SCHEMA CONCEPTUEL MIS A JOUR .....	76
10.6.	CONTROLE DE L'APPLICATION DES MESURES DE GESTION PREVUES .....	78
10.7.	MESURES CONCERNANT LA PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS, L'HYGIENE, LA SECURITE DES TRAVAILLEURS DURANT LES TRAVAUX ET/OU L'AMENAGEMENT DU SITE .....	79
10.7.1.	<i>Pour le personnel sur chantier</i> .....	79
10.7.2.	<i>Pour les riverains</i> .....	79
<b>11.</b>	<b>ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS</b> .....	<b>80</b>
<b>12.</b>	<b>RESUME</b> .....	<b>81</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Parcelles cadastrales concernées .....	8
Tableau 2 : résumé de l'historique du site jusqu'au rachat par Azur Chimie .....	12
Tableau 3 : Ateliers spécialisés dans la production des composés bromés du secteur FC .....	13
Tableau 4 : Points d'eau recensés dans un rayon d'un kilomètre .....	21
Tableau 5 : Inventaire des sites BASIAS localisé dans un rayon de 500 m autour de la zone d'étude .....	23
Tableau 6 : Investigations réalisées sur le site .....	26
Tableau 7 : Modes d'exposition retenus sur site .....	40
Tableau 8 : Objectifs de dépollution proposés .....	42
Tableau 9 : Techniques de réhabilitation éliminées (non étudiées) .....	44
Tableau 10 : Filières de traitement hors site pour les métaux .....	46
Tableau 11 : Filières de traitement hors site pour les composés halogénés .....	47
Tableau 12 : coûts des techniques envisagées .....	60
Tableau 13 : Valeurs indicatives dans les sols en vue de la sélection du matériau constituant une canalisation .....	68
Tableau 14 : Enjeux à protéger via des dispositions constructives .....	77

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 Localisation des sites
Figure 2 Plan cadastral de la zone d'étude
Figure 3 Activités exercées sur la zone FC
Figure 4 Activités exercées sur la zone FR
Figure 5 Contexte géologique de la zone d'étude
Figure 6 Localisation des panneaux de l'inspection géophysique de Geolithe (août 2002)
Figure 7 Carte piézométrique de janvier 2010 (Extrait rapport Antea A57328A)
Figure 8 Carte de localisation des points d'eau à moins de 1 km du site
Figure 9 Inventaire des sites BASIAS et BASOL à proximité de la zone d'étude (500m de rayon)
Figure 10 Carte des impacts en arsenic entre 0 et 1m de profondeur
Figure 11 Carte des impacts en plomb entre 0 et 1m de profondeur
Figure 12 Carte des impacts en mercure entre 0 et 1m de profondeur
Figure 13 Carte des impacts en cadmium entre 0 et 1m de profondeur
Figure 14 Carte des impacts en cuivre entre 0 et 1m de profondeur
Figure 15 Carte des impacts en zinc entre 0 et 1m de profondeur
Figure 16 Carte des impacts en chrome entre 0 et 1m de profondeur
Figure 17 Carte des impacts en nickel entre 0 et 1m de profondeur
Figure 18 Carte des impacts en hydrocarbures totaux
Figure 19 Carte des impacts en HAP
Figure 20 Carte des impacts en PCB
Figure 21 Carte des impacts en 1,2-dichloroéthane
Figure 22 Carte des impacts en 1,2-dibromoéthane
Figure 23 Carte des impacts en tétrachlorure de carbone
Figure 24 Carte des impacts en solvant
Figure 25 Concepts de réaménagement de la zone d'étude

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 : Grille de codification – Référentiel LNE

Annexe 2 : Données historiques et documentaires

Annexe 3 : Détails de l'Analyse des Risques Résiduels

# 1. Contexte et Objectifs

## 1.1. Cadre de l'étude

Le secteur de Caronte, représente près de 50 hectares et constitue la dernière grande friche industrielle à l'Ouest de l'étang de Berre. Il est situé en position stratégique au Nord du chenal de Caronte et au sein du territoire de la Communauté d'Agglomération du Pays de Martigues (CAPM) entre les centres villes Port de Bouc et Martigues. En continuité de l'urbanisation existante, il côtoie au Nord le quartier des Comtes et à l'Ouest le Centre ville. Sa morphologie a été largement remaniée par les activités industrielles (talus, remblais, voies ferrées, etc.). L'activité industrielle a laissé ses traces visibles dans les bâtis (Château Vidal, vestiges d'Azur chimie, réservoirs, mur, bassins, quais, etc.) et invisibles telles que la pollution des sols, les servitudes liées aux risques (naturels et technologiques).

La Ville a acquis en 2012 les terrains de l'ancienne usine Azur Chimie et souhaite aujourd'hui inscrire le secteur de Caronte dans un contexte de redéploiement urbain (habitat et activités économiques non polluantes) en cohérence avec le PLU dans la perspective de la création d'une zone d'aménagement future équilibrée financièrement. En outre, la mairie souhaite respecter les prescriptions définies à l'article 4.1 de l'arrêté préfectoral 211-2012-SERV du 19 mai 2014 et à l'article 2 de l'arrêté préfectoral n°208-2012 PC du 7 mai 2012, qui demandent la réalisation d'un plan de gestion concernant les parcelles cadastrales 167 à 174 ainsi que les parcelles 34,36, 37, 140, 141, 144 et 145 correspondant à l'ancien site Azur Chimie.

C'est dans ce contexte que la ville de Port de Bouc a souhaité bénéficier d'une assistance d'ingénierie environnementale et règlementaire pour élaborer un projet d'aménagement tenant compte des contraintes liées aux pollutions anciennes dans le sous-sol laissées par les activités industrielles des sociétés *Ugine Kuhlmann*, *Calchimie du Midi*, *Atochem*, *Albemarle Chemicals* et *Azur Chimie*.

Dans le cadre de l'appel d'offres n°14FCS09, la Mairie de Port de Bouc a mandaté Antea Group pour la réalisation d'un Plan de Gestion permettant de définir les modalités de réaménagement de l'ancien site Azur Chimie ainsi que des parcelles situées au sud et au nord du site de l'usine.

## **1.2. Objectifs de l'étude**

Cette étude a pour objectifs de :

- De faire la synthèse des contraintes liées aux pollutions anciennes présentes dans le sous-sol ;
- d'étudier les solutions techniques les plus adaptées pour la réhabilitation et/ou l'aménagement du site dans des conditions technico-économiques acceptables en intégrant les informations sur l'usage futur du site et les contraintes sanitaires ;
- de proposer une solution de gestion des pollutions dans le cadre du réaménagement du site.

Cette étude a été réalisée conformément à la méthodologie du 8 février 2007, du Ministère en charge de l'Environnement. Les prestations réalisées par Antea Group sont conformes aux préconisations de la norme AFNOR NF X 31-620 (Prestations de services relatives aux sites et sols pollués), selon les missions codifiées A100, A110, A120 et PG (**Annexe 1**).

## 2. Description des sites et études historiques

### 2.1. Description des sites dans leur état actuel

L'ancienne usine Azur Chimie est localisée rue Paul Lombart, dans la zone d'activités de « la Gafette », sur la commune de Port de Bouc (13). Le site est localisé au Nord du canal de Caronte qui relie l'Etang de Berre à la mer Méditerranée, entre la rue Paul Lombart et le ruisseau de Saint-Jean. L'ancien site Azur Chimie concerne les parcelles cadastrales n°34, 36, 37, 140, 141, 144 et 145.

Le secteur Nord est contigu à la limite Nord de l'ancien site d'Azur Chimie. Il est limité au nord par le boulevard Pierre Sémard, à l'ouest par la rue Paul Lombart et à l'est par le boulevard maritime. Ce secteur concerne les parcelles cadastrales 167 à 174.

Le secteur Sud est situé de l'autre côté des voies ferrées au sud-ouest du site, le long du chenal de Caronte. Il concerne les anciennes pomperies d'eau de mer du site Azur Chimie et occupe les parcelles cadastrales n°34,36 et 37.

La zone d'étude, objet de ce présent rapport, est présentée en rouge sur la

Figure 1. Les parcelles concernées sont indiquées dans le Tableau 1 ci-dessous et sont localisées dans la Figure 2 (les parcelles détenues par des propriétaires privés ne sont pas concernées par la présente étude soit les 146 à 150, 152, 153, 155, 157, 160 à 163):

Référence Cadastre	Superficie	Désignation de la zone
Zone Ancienne usine Azur Chimie		
Zone FR (est de la zone d'étude)		Parcelles Azur Chimie exploitées jusqu'en 2009
AE 144	36 331 m <sup>2</sup>	
Zone FC (ouest de la zone d'étude)		
AE 145	43 333 m <sup>2</sup>	Ancienne zone d'activité industrielle
Zone N (nord de l'a zone d'étude)		
AE 167	5 300 m <sup>2</sup>	
AE 168	1 130 m <sup>2</sup>	
AE 169	9 446 m <sup>2</sup>	
AE 170	507 m <sup>2</sup>	
AE 171	3 021 m <sup>2</sup>	
AE 172	584 m <sup>2</sup>	
AE 173	1 287 m <sup>2</sup>	
AE 174	1 484 m <sup>2</sup>	
Zone S (sud de la zone d'étude)		Parcelles Azur Chimie exploitées jusqu'en 2009
AD 34	9 446 m <sup>2</sup>	
AD 36	4 748 m <sup>2</sup>	
AD 37	6 485 m <sup>2</sup>	
Superficie totale	123 102 m <sup>2</sup>	

**Tableau 1 : Parcelles cadastrales concernées**

La zone d'étude est principalement en friche occupée par de la végétation et des traces d'anciennes voiries et plateforme de béton résiduelle. L'ancien site Azur Chimie est en cours de démolition.

## 2.2. Historique et activités de la zone d'étude

Les informations de ces paragraphes sont issues des sources d'informations suivantes :

- L'étude du rapport Antea Group n°A57328 « Diagnostic environnemental du sous-sol, Plan de gestion – Site Azur Chimie de Port de Bouc » ;

### 2.2.1. Evolution du site

L'établissement Azur Chimie est localisé sur une ancienne lagune côtière utilisée pour l'extraction du sel.

Entre 1920 et 1930, la lagune a été remblayée par la SNCF pour la réalisation d'une voie ferrée. La partie restante, isolée de la mer, est alors appelée "Etang de Gafette". L'étang sera ensuite progressivement comblé pour l'aménagement du site par les déchets de l'usine voisine des établissements *Kulhmann* et les déchets municipaux de la ville de Port de Bouc. Le Vallat Saint-Jean, canal municipal d'évacuation des eaux pluviales, correspond « aux vestiges » de l'Etang de Gafette. Il traverse les zones remblayées au nord du site et se jette dans le canal de Caronte.

Le site Azur Chimie était organisé en deux secteurs de fabrication :

- le secteur FC (Fine Chemicals) spécialisé dans la production des dérivés aromatiques bromés,
- le secteur FR (Flame Retardant) qui correspond à la production du PYROCHEK (additif retardateur de flamme (ignifugeant) pour matières plastiques).

Un troisième secteur correspond aux pomperies d'eau de mer.

Le tableau ci-après présente l'historique du site de 1935 jusqu'à la reprise de l'usine par Azur Chimie. Certaines photographies aériennes anciennes sont présentées en Annexe 2.

Années	AZUR CHIMIE
1915	Le site Azur chimie est occupé par les salins de la Gafette
1935	Aucune construction n'est visible sur le site qui se présente sous la forme d'un marais côtier. Deux avancées sont présentes dans l'étang de la Gafette où un début de remblaiement est visible.
1939	Création d'un atelier de fabrication de brome et de ses dérivés (notamment du dibromoéthane (DBE), qui est incorporé au plomb tétraéthyle à partir de l'eau de mer.
1940	Production d'éthylène et de dichloroéthane.
1942	Nouvelle fabrication dépendant de l'atelier Brome : le bromure de méthyle.
1949	Construction de la deuxième tranche d'extraction du brome de l'eau de mer.
1951	Production en quantité semi-industrielle du chlorobromométhane.
1952	Fabrication en continu du dibromoéthane (DBE).

Années	AZUR CHIMIE
1953	Production de SO <sub>2</sub> pour la fabrication de l'acide bromhydrique (suite arrêt chambres à plomb sur site voisin).
1955	Le remblaiement de l'étang de la Gafette se poursuit par le Nord-ouest et par l'Est avec la construction d'un premier bâtiment. Plusieurs axes de drainage des eaux sont visibles entre la partie Ouest du site et l'étang de la Gafette.
1956	FC : Première campagne de production de bromure d'éthyle (en utilisant l'installation du bromure de méthyle à partir de juin puis en utilisant une unité indépendante à compter de novembre). FR : Le terrain appartient à la société <b>Standard of California</b> qui loue le site à la société <b>Ugine Kuhlmann</b> . La première activité industrielle sur le site de Port de Bouc est la production d'un fongicide, le Captan.
1957	Mise en fonctionnement de l'atelier de perchlorométhylmercaptop (PCMM).
1959	Productions en petites quantités de dibromoéthane, dibromopropanol, chlorodibromoéthane, dibromobutane (produits pour extincteurs).
1960	FR : <b>Standard of California</b> transfère la propriété du site à sa filiale, la société <b>California Spray Chemical Co. Calchimie du Midi</b> .
1962	FR : L'activité de l'usine est étendue à la production de Phaltan connu également sous le nom de Folpet. Le Phaltan est un composé similaire au Captan excepté dans sa structure interne.
1963	L'étang continue à être comblé en direction du Nord avec des remblais (déchets) semblant provenir des établissements <i>Kulhmann</i> et de la société <i>Calchimie du Midi</i> . Des canaux de rejet des effluents aqueux indépendants aux deux sites sont visibles (D1, D3 et D4). Ils se jettent dans l'étang de la Gafette. L'étang est relié au ruisseau Saint Jean qui se jette dans le canal de Caronte. La zone remblayée au Nord-est du site, est également visible.
1964	FR : Un autre fongicide est ajouté à la liste des produits réalisés sur le site, le Difolatan (ou Captafol).
1965	En avril démarrage de la production de tétrachlorure de carbone (co-produit du PCMM).
1966	Changement de dénomination : <b>Etablissement Ugine Kuhlmann</b> .
1967	L'étang de la Gafette est presque entièrement comblé. Il draine les eaux usées de la ville de Port de Bouc. Les canaux D1 et D4 provenant des établissements <i>Kulhmann</i> traversent le site <i>Calchimie du Midi</i> dans sa partie Nord pour rejoindre l'étang de la Gafette. Les déchets provenant des établissements <i>Kulhmann</i> et de <i>Calchimie du Midi</i> semblent avoir été éliminés ou plus probablement brûlés. Construction de l'Unité n°3 d'extraction du brome. Démarrage en février de l'atelier de production de SO <sub>2</sub> (à partir de soufre) pour l'atelier brome.
1968	En janvier, démarrage de la nouvelle fabrication de dichlorure de soufre. La production d'acide sulfurique par catalyse Continue (arrêt procédé chambre à plomb sur le site voisin).
1969	Démarrage de la fabrication de monochlorure de soufre.
1970-1975	<b>FR : Calchimie du Midi</b> devient <b>Chevron Chemical SAF</b> et rachète le site dans le cadre d'une série d'acquisition.
1971	Secteur FC : Changement de dénomination <b>Etablissement PcuK</b> (Produits Chimiques Ugine Kuhlmann), filiale du groupe PUK (Péchiney Ugine Kuhlmann). Mise en place d'un nouvel atelier (indépendant du brome) pour fabriquer les bromures d'alkyle. Installation d'un atelier indépendant pour la production de bromure de méthyle.

Années	AZUR CHIMIE
1972	L'étang de la Gafette est entièrement comblé ; il reste le ruisseau Saint Jean. La morphologie du ruisseau est proche de sa configuration actuelle. Le canal D4 est canalisé en souterrain jusqu'en limite du site <i>Calchimie du Midi</i> (devenu <i>Chevron Chemical SAF</i> ) puis se rejette dans le ruisseau Saint Jean. Le canal D3 est à peine visible. Construction de l'Unité n°4 d'extraction du brome.
1973	Démarrage de l'atelier SERS (Société des Electrodes et Réfractaires de Savoie). Démarrage de l'unité 4 HBr.
1974	Un nouvel atelier d'anhydride tétrabromophtalique est mis en service en juin et arrêté la même année. Arrêt des unités n°1 et 2 HBr.
1975	FC : Redémarrage de l'Unité n° 2 d'extraction du brome après revamping. FR : Mise en service d'un incinérateur (qui ne sera plus utilisé à partir de la date de transfert de propriété vers <b>Ferro Chemicals SA</b> ) 1989.
1976	Mise en route de l'atelier des adines.
1978	Peu de modifications concernant le remblaiement du site sont visibles. Le canal D3 n'est plus visible.
1981	FR : Un atelier de fabrication de chimie fine est construit pour la production d'un fongicide systémique appelé Ofurace (capacité de production de 180 tonnes par an).
1983	Changement de dénomination : <b>Atochem</b> .
1984	Le canal D4 n'est plus visible (canalisation souterraine). Le canal D1 passe en souterrain au droit du site <i>Chevron Chemical SAF</i> . Un parking est construit sur la zone remblayée par les déchets municipaux de la ville de Port de Bouc. Démarrage d'une production de bromure de propyle.
1985	Arrêt du conditionnement d'éthylène. Mise en service d'un stockage de brome de 10 m <sup>3</sup> et d'un poste de chargement de citernes routières et de conteneurs.
1986	Les activités principales de l'usine sont orientées autour de deux pôles : le brome et ses dérivés et les dérivés chlorés du soufre. La production de brome et de dibromoéthane est gérée par <b>Octel Kuhlmann</b> .
1987	Rachat par <b>Atochem</b> de l'atelier CMPA de conditionnement du bromure de méthyle.
1988	La configuration du site est similaire à la configuration lors du rachat par Azur Chimie. Un laboratoire a été construit sur la zone remblayée par les déchets municipaux de la ville de Port de Bouc. FC : Augmentation de capacité de l'atelier de production des bromures d'alkyles avec intégration dans la gamme du bromure d'allyle et du bromure d'isoamyle. Fin novembre 1988 : arrêt de la production de PCMM. FR : La production de Captan, de Phaltan et de Difolatan cesse. L'Ofurace reste le principal composé produit sur le site.
1989	FC : Démarrage d'un atelier de production d'acide bromhydrique concentré (48 %), (réutilisation de certains équipements ayant servi au PCMM). FR : Cessation d'activité de <b>Chevron Chemical SAF</b> et transfert de propriété vers <b>Ferro Chemicals SA</b> . Maintient de l'atelier de fabrication de l'Ofurace et des installations de formulation de produits liquides.
1990	Démarrage d'un atelier de fabrication de bromures organiques (bromures d'octyle, hexyle, phénétyle, etc...). Tout comme à l'atelier HBr 48 %, cette fabrication utilise du matériel libéré par l'arrêt de production de PCMM. FR : Construction d'une unité de synthèse d'additifs pour carburants (OGA).

Années	AZUR CHIMIE
1991	FR : La fabrication d'Ofurace est suspendue suite à la fluctuation du marché et à l'adaptation de l'atelier pour la fabrication d'un additif retardateur de flammes pour matières plastiques appelé PYROCHEK.
1992	Création de la <b>Société Méditerranéenne du Brome</b> (SMB), pour gérer les activités Octel-Kuhlmann de Port de Bouc (usine Sud).
1993	Démarrage d'une colonne servant à distiller les bromures organiques. Arrêt de l'Unité n°2 d'extraction du brome.
1994-1995	FR : L'atelier de fabrication d'additifs pour carburant (OGA) devient un atelier polyvalent pour la fabrication de familles d'additifs pour carburants de caractéristiques et de spécifications très peu différentes (famille FC01).
1997	Démarrage des activités de production d'HBr gaz et de valorisation de solutions bromurées. FR : Arrêt de l'activité de formulation de liquides. Le fonctionnement de l'atelier de fabrication d'Ofurace et de PYROCHEK est modifié pour permettre une fabrication de ces deux produits en même temps ou de façon alternative. Le développement de produits de la famille du PYROCHEK ou de l'Ofurace est désormais possible dans un pilote constitué par les équipements laissés libres lors de la fabrication du PYROCHEK seul.
1998	Nouvelles synthèses de bromures d'alkyles avec du HBr gaz. <b>ELF Atochem</b> devient le seul propriétaire des anciennes activités de <b>Octel-Kuhlmann</b> ; disparition de la <b>Société Méditerranéenne du Brome</b> (SMB).
2000	Construction et démarrage du nouvel atelier BABE (bromoacide / bromoester). Modification du stockage de chlore liquide et création d'un confinement dynamique des wagons. En avril, <b>ELF Atochem</b> devient <b>ATOFINA</b> . Arrêt de la fabrication des adines et des chlorures de soufre. FR : Acquisition du site par <b>Albemarle Chemicals</b> .
2003	Acquisition du site par <b>Albemarle Chemicals</b> . FR : Mise en service d'une installation de récupération de catalyseur et cessation d'activité de production Ofurace.
2004-2006	Opération de dépollution du bassin de lissage et de l'atelier BABE par pompage traitement
2008	Acquisition du site par <b>Azur Chimie</b>
2008-2009	Reprise et arrêt des opérations de dépollution du bassin de lissage et de l'atelier BABE par pompage traitement
2010	Fin d'activité d'Azur Chimie

**Tableau 2 : résumé de l'historique du site jusqu'au rachat par Azur Chimie**

Ces activités ont été soumises à déclaration et à autorisation conformément à la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Avant sa fermeture, l'établissement était classé SEVESO, seuil haut (autorisation avec servitude), pour la mise en œuvre de gaz toxiques.

Le site est actuellement en friche. La cessation d'activité d'Azur Chimie date de 2010. A noter que durant les années 2004 à 2006 puis 2008 à 2009, un traitement de la pollution des eaux souterraines par pompage /traitement a été réalisé. Le dispositif n'a par contre pas été efficace du fait notamment de la faible perméabilité de l'aquifère.

## 2.2.2. Activités du site avant sa démolition

### 2.2.2.1. Secteur FC

**Le secteur FC correspondait à un ensemble d'ateliers spécialisés dans la production des dérivés aromatiques bromés (Figure 4 Activités exercées sur la zone FR ). Il comprenait 18 unités listées dans le Tableau 3 ci-après.**

Unités	Désignation de l'Unité
U03	Extraction Brome 3
U04	Extraction Brome 4
U11	Bâtiment Brome, VSB, HBr
U12	Acides dilués
U13	DBE
U14	Tour aérofrigérante
U15	BABE
U16	Chlore
U21	BAS2
U23	BAS3
U24	Effluent
U27	Azote
U28	Utilités
U29	BAS1 (ancienne unité BAL)
U30	Stockage
U31	Chloropicrine
U32	Fabrication SO <sub>2</sub> -SO <sub>3</sub>
U33	Stockage de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

**Tableau 3 : Ateliers spécialisés dans la production des composés bromés du secteur FC**

Il regroupait également les bâtiments suivants :

- le bâtiment du poste de garde à l'entrée du site (par la rue Paul Lombard) ainsi que d'anciens bureaux ;
- au nord du site, les bâtiments correspondant aux bureaux administratifs, aux bureaux techniques et aux vestiaires ;
- au nord-est, le hangar de stockage des produits finis,
- les divers locaux techniques : la chaufferie, les postes électriques et groupes électrogènes,
- les différents ateliers et les unités de fabrications multi-produits.

Les principaux ateliers de production sont listés ci-après et reportés sur Figure 3:

➤ Atelier chlore (unité 16)

Le chlore liquide était approvisionné par citernes ferroviaires puis évaporé sur place, le chlore utilisé étant exclusivement sous forme gazeuse. Le chlore gaz alimentait deux ateliers de production : la tour à brome et l'atelier PYROCHEK (secteur FR).

➤ Ateliers Br2 / HBr / VSB (unite 11)

L'atelier brome permettait de traiter l'ensemble des acides résiduaire et des effluents collectés afin de réduire la quantité de produits organiques, de neutraliser les effluents et de récupérer le brome en oxydant les bromures par du chlore.

La production de brome n'étant pas suffisante, des iso-containers de brome liquide étaient importés.

L'atelier HBr permettait de produire de l'acide bromhydrique (Hbr) sous forme gazeuse en brûlant de l'hydrogène et du brome gazeux. Il était utilisé en interne, ou absorbé dans de l'eau pure afin de produire une solution aqueuse à 48%.

L'atelier VSB avait pour objectif de valoriser les solutions bromées brutes réceptionnées sur le site de Port de Bouc par « opération semi-batch ». Les solutions bromées étaient prétraitées par simple distillation et stripping à la vapeur afin d'être valorisées dans la tour à Brome (production de brome sec sous forme liquide). Les résidus de distillation et de stripping étaient stockés sur le site pour être finalement incinérés.

➤ Ateliers chaînes liquides

Les ateliers BAS2 (unité 21) et BAS3 (unité 23) avaient été mis en place pour la production de bromures d'alkyles supérieurs (dibromure d'alkyle, bromoforme, ...).

L'atelier BABE (unité 15) permettait de produire une large gamme de dérivés bromés par batch en réaction et purification par distillation.

L'atelier BAS1 (unité 29) permettait de produire des bromures d'alkyle supérieurs, en réalisant une réaction d'hydrobromation avec de l'acide bromhydrique en milieu sulfurique.

➤ Atelier BAL (unité 29)

L'atelier BAL produisait des bromures d'alkyles dits « légers » par un procédé continu.

Les matières premières, l'acide bromhydrique solution et le catalyseur, étaient introduits en continu dans un réacteur agité de 4 m3. Le réacteur était maintenu à 125°C durant la synthèse, le produit formé était évaporé en continu en tête du réacteur.

Cet atelier a été arrêté en 2005.

➤ Unités d'extraction du brome (unité 3 et unité 4)

L'usine de Port de Bouc disposait de deux unités d'extraction d'eau de mer situées au Sud des voies ferrées de desserte de la zone industrielle de Caronte. Elles permettaient à l'établissement de produire 11 000 t/an de brome.

L'extraction du brome de l'eau de mer était réalisée par acidification en présence de chlore et de dioxyde de soufre. Il en résultait la production d'une solution dite « primaire » contenant les acides chlorhydriques, sulfuriques et bromhydriques à partir de laquelle le brome est produit.

Ces deux unités ont été arrêtées en 2006.

• Accidents et incidents recensés

Plusieurs incidents ont été recensés entre 1990 et 2010, essentiellement des fuites de chlore et de brome. Ces incidents sont listés en détail dans le plan de gestion n°A57328 « Diagnostic environnemental du sous-sol, Plan de gestion – Site Azur Chimie de Port de Bouc ».

#### 2.2.2.2. Secteur FR

Le secteur FR correspondait à la zone est de l'ancienne usine Azur Chimie.

Le secteur FR comprenait un atelier de production d'un additif retardateur de flamme (ignifugeant) pour matières plastiques (unité 108), appelé PYROCHEK (Figure 4 Activités exercées sur la zone FR ).

Il comprenait deux unités :

- U108 : unité PYROCHEK,
- U120 : utilités.

Cet atelier avait une capacité de production annuelle de 7500 tonnes environ. Le PYROCHEK est obtenu par fixation de brome sur du polystyrène en solution dans du 1,2 dichloroéthane (EDC), en présence d'un catalyseur type acide de Lewis.

Plusieurs bâtiments étaient présents au droit du secteur FR (Figure 4) :

- à l'entrée du site (par le boulevard maritime) : un poste de garde,
- les bureaux des services techniques,
- à l'Ouest : le magasin, et l'atelier mécanique, un réfectoire et un bungalow de stockage,
- au Sud-est : un hangar de stockage du PYROCHEK conditionné,
- au Sud-ouest : un hangar de stockage et de conditionnement du PYROCHEK,
- divers locaux techniques et postes électriques.

Les principaux produits utilisés lors de la fabrication du PYROCHEK étaient les suivants :

- du brome liquide utilisé lors de la synthèse du chlorure de brome,
- utilisation d'un catalyseur composé d'antimoine,
- du chlore gazeux utilisé pour la récupération du catalyseur,
- du polystyrène utilisé pour la synthèse du PYROCHEK,
- du 1,2 dichloroéthane (EDC), solvant utilisé pour la dissolution du polystyrène,
- un acide de lewis utilisé comme catalyseur pour la synthèse du PYROCHEK,
- du métabisulfite de sodium utilisé pour la neutralisation de chlorure de brome,
- du sulfure de sodium pour le traitement des effluents.

- **Accidents et incidents recensés**

Plusieurs incidents ont été recensés entre 1993 et 1998, essentiellement des fuites de chlore et de brome. Ces incidents sont listés en détail dans le plan de gestion n°A57328 « Diagnostic environnemental du sous-sol, Plan de gestion – Site Azur Chimie de Port de Bouc ». A noter toutefois un évènement particulier en mai 2003 avec une fuite

biphasique qui a lieu sur la soupape d'un réacteur de bromation contenant 2t de dichloroéthane avec 5 % de chlorure de brome (BrCl).

L'épandage du mélange serait resté confiné dans l'atelier de production ainsi que le nuage de chlorure d'hydrogène émis.

#### 2.2.2.3. Secteur Pompage

Le secteur S correspondant à l'ancienne zone de pompage d'eau de mer est situé au sud du site de l'usine Azur Chimie, le long du canal de Caronte. Dans ce secteur, l'installation de pompage d'eau de mer permettait l'alimentation de l'usine.

Il n'a pas été possible d'obtenir des détails quand à l'historique des activités sur ces parcelles. Les photographies aériennes ont mis en évidence la présence d'une infrastructure dès 1938.

Le site est actuellement en friche.

- **Accidents et incidents recensés**

Aucun incident ou accident n'a été recensé d'après les documents fournis. Ce secteur n'a pas fait l'objet d'enregistrement dans les bases de données BASOL et BASIAS.

#### 2.2.2.4. Secteur Nord

Le secteur N n'a a priori pas fait l'objet d'installation industrielle.

Il n'a pas été possible d'obtenir des détails quand à l'historique des activités sur ces parcelles. Les photographies aériennes ont mis en évidence la présence d'infrastructure dès 1947. Un premier bâtiment (type hangar) a été construit entre 1938 et 1947, puis un deuxième avant 1955. Les deux bâtiments ont été détruits entre 1974 et 1982.

Le site est actuellement en friche.

- **Accidents et incidents recensés**

Aucun incident ou accident n'a été recensé d'après les documents fournis. Ce secteur n'a pas fait l'objet d'enregistrement dans les bases de données BASOL et BASIAS.

## 3. Contexte environnemental

### 3.1. Topographie

La zone d'étude présente une déclivité du Nord vers le Sud d'environ 5 mètres. La cote topographique est d'environ 7 m NGF au niveau du boulevard Pierre Semard au Nord, elle est d'environ 2 m NGF au niveau de la voie ferrée au Sud. Le secteur de pompage est contigu avec le chenal de Caronte avec une cote topographique proche de 0 m NGF.

### 3.2. Contexte géologique

#### 3.2.1. Contexte géologique régional

Le secteur d'étude se situe dans la partie orientale des Bouches du Rhône.

Selon la carte géologique d'Istres, feuille XXIX-44-45 au 1/50 000<sup>e</sup> (Figure 5), les terrains à l'affleurement au droit de la zone d'étude sont majoritairement composés de remblais anthropiques (notés en blanc sur la carte).

Ces remblais sont juxtaposés ou viennent en recouvrement d'une alternance d'argilites et de poudingues à facies bégudien (notés C7aP sur la carte au figuré vert à pois bleus). D'une épaisseur de 400 m, ces dépôts sont caractéristiques d'une sédimentation deltaïque en milieu lacustre. Ils sont constitués de marnes et d'argilites grises, rouges ou bariolées qui alternent avec des bancs et lentilles de poudingues. Il s'agit de matériaux sédimentaires peu perméables.

Le secteur nord n'a pas été remblayé et présente directement cette alternance d'argilites et de poudingues (en vert clair à pointillé noir).

Au droit du secteur de la zone sud, les dépôts correspondent à des dépôts limoneux marins (en vert polaire).

#### 3.2.2. Contexte géologique local

##### 3.2.2.1. Secteur FC et FR

Les investigations réalisées sur le site Azur Chimie dans les secteurs FC et FR, ont mis en évidence la succession lithologique suivante (de bas en haut) :

- Une unité d'argiles ou marnes compactes considérées comme le substratum de l'aquifère au droit du site ;
- Une unité des dépôts quaternaires constitués soit de limons fluviatiles soit de vases provenant des anciens marais. Ils sont présents sur une épaisseur maximale de 13 m. Ces dépôts sont notamment présents sur la partie nord/ouest du terrain. Ces dépôts contiennent une riche microfaune (coquillages, végétaux marins) ;

- Une unité de remblais dont l'épaisseur varie approximativement de 0,5 à 4,5 m. Sur la partie Nord du site, les remblais présentent une épaisseur variant entre 2 et 4,5 m. Ils sont caractérisés par des déchets industriels variés (sacs plastiques, bois, briques, gravats et ferrailles). D'une épaisseur moindre sur la partie Sud du site (0,5 à 1 m), ils sont constitués de matériaux de démolition (briques et gravats) dans une matrice sablo-argileuse.

#### 3.2.2.2. Secteur Pompage

Les investigations réalisées sur le site Azur Chimie dans le secteur pompage, ont mis en évidence la succession lithologique suivante (de bas en haut) :

- Une unité d'argiles et de vases limono-sablonneuse, avec du sable fin coquillier jusqu'à environ 1,5 m ;
- Une unité de remblais d'origine anthropique, provenant de l'usine Kuhlmann, couleur lie de vin entre 1,5 et 0,6 m
- Une unité superficielle de comblement (remblais) sablo-graveleux composée de bloc de béton, de briques et de cailloux sur environ 60 cm.

#### 3.2.2.3. Secteur Nord

Les investigations réalisées sur le site Azur Chimie, ont mis en évidence la succession lithologique suivante (de bas en haut) :

- Une unité de poudingue apparait en partie sud entre 1,5 et 2 m.
- Une unité de marne beiges à passées beiges à blanchâtre, peu argileuse et sèche. L'unité est présente jusqu'à 0,6 m ;
- Une unité superficielle de terre végétale argilo-limoneuse, brune avec peu ou pas de gravier, entre 0,6 m et la surface.

#### 3.2.3. Prospection géophysique – société Géolithe (août 2002)

Une prospection géophysique a été réalisée par la société Géolithe afin d'obtenir une meilleure connaissance du substratum argileux.

Trois panneaux électriques, localisés à la limite des secteurs FC et FR, ont été effectués sur une longueur de 140 m dans le sens Sud/Nord. Ces trois panneaux ont mis en évidence trois horizons géologiques, avec de haut en bas :

- un premier horizon hétérogène d'épaisseur variable (2 à 7 m). Cet horizon correspond aux terrains superficiels de comblement (remblais et sols naturels) ;
- un second horizon présentant des résistivités très faibles indiquant un milieu saturé en eau. Cet horizon correspondrait à des terrains naturels (unité limoneuse silto-argileuse) ;

- un troisième horizon présentant une résistivité qui augmente avec la profondeur. Cet horizon correspond au substratum marneux compact. Il a été recoupé à des profondeurs variables. En effet, au niveau du panneau n°1, le substratum s'approfondit du Sud (7 m) au Nord (16 m). Sa profondeur varie de 7 à 10 m au niveau du panneau n°2 et de 14 à 18 m au niveau du panneau n°3.

L'implantation des panneaux électriques réalisée par la société Géolithe est reportée sur la Figure 6.

Cette étude confirme les données acquises lors des investigations antérieures. Elle permet par ailleurs de préciser la profondeur de l'horizon argileux, substratum de l'aquifère.

### **3.3. Contexte hydrologique**

#### **3.3.1. Réseau Hydrographique**

Le site Azur Chimie de Port de Bouc se situe sur la rive Nord du canal de Caronte.

Le secteur d'étude est marqué par une densité importante de plans d'eaux et de zones salines :

- la Anse Aubran à environ 150 m à l'ouest de la zone de pompage,
- le Chenal de Caronte à 130 m au Sud du site Azur Chimie et contigu à la zone de pompage. Long de 6,5 km et large de 250 m, ce dernier relie l'étang de Berre (à environ 4,2 km à l'Est) au golfe de Fos (à environ 1,8 km à l'Ouest),
- le Canal de navigation de Fos Sur Mer à Port de Bouc à 1,1 km à l'Ouest,
- le port pétrolier de Lavéra à 300 m au Sud de la zone de pompage,
- le ruisseau dit « CD50 » venant de Port de Bouc côté Est de la zone d'étude. Il traverse le secteur FR en souterrain puis se jette dans le ruisseau Saint Jean situé en bordure Est du site.

#### **3.3.2. Usages des eaux superficielles**

Le Chenal de Caronte est de qualité « médiocre » sans objectif de qualité publié dans le SDAGE. Il est utilisé par les navires commerciaux et de plaisance. Toutefois le chenal de caronte est utilisé par les pêcheurs professionnels et amateurs. La Anse Aubran, est quant à elle, utilisée comme port de pêche.

Le ruisseau Saint Jean n'est pas considéré comme une source d'eau exploitable par l'Agence de l'Eau et le Bureau Maritime de Port de Bouc. Il s'agit d'un fossé municipal de drainage des eaux pluviales, recevant également des effluents industriels traités et les égouts privatifs ou industriels partiellement traités.

### 3.4. Contexte hydrogéologique

#### 3.4.1. Aquifère

Trois formations géologiques sont présentes de bas en haut :

- une unité argileuse compacte : cette formation quasi-imperméable constitue le substratum hydrogéologique du site,
- une unité limono-argileuse fossilifère (dépôts limoneux marins) : cette formation est semi-perméable,
- une unité superficielle de comblement (remblais): la granulométrie est hétérogène, seule cette formation est perméable.

#### 3.4.2. Profondeur

Pour l'ensemble du site, le toit de la nappe libre fluctue entre 0,5 et 1,5 m de profondeur.

#### 3.4.3. Sens d'écoulement

Les niveaux d'eau mesurés sont hétérogènes et font apparaître un écoulement complexe et perturbé. Les écoulements des eaux souterraines se font par des chemins préférentiels au sein de veines plus sableuses dans les vases.

La carte piézométrique la plus récente, réalisée par ANTEA en janvier 2010, met en évidence une ligne de partage des eaux orientée Est Sud-est / Ouest Nord-ouest avec un écoulement des eaux en direction du ruisseau Saint Jean et du ruisseau CD50 au nord et un écoulement vers le chenal de Caronte au sud avec un dôme piézométrique dans la partie centrale du site. Cette carte est disponible en Figure 7.

#### 3.4.4. Caractéristique de l'aquifère

Les caractéristiques de l'aquifère sont hétérogènes avec des valeurs de perméabilité comprises entre  $7.10^{-6}$  et  $2.10^{-4}$  m/s et des valeurs de transmissivité comprises entre  $3.10^{-5}$  et  $5.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s.

#### 3.4.5. Usage de l'aquifère

L'alimentation en eau potable sur la commune de Port de Bouc est assurée par la Régie des eaux et d'assainissement de la Communauté d'agglomération du pays de Martigues. L'eau distribuée provient de la nappe de La Crau (aquifère distinct et indépendant de celui présent au droit du site), avec ses trois forages situés à Fanfarigoule (environ 10 km au Nord-ouest du site). Le site Azur Chimie n'est pas inclus dans leur périmètre de protection.

La nappe superficielle située au droit du site n'est pas exploitée, que ce soit pour un usage industriel ou pour le captage d'eau potable.

Les données de la banque du sous-sol mettent cependant en évidence plusieurs points d'eau (Tableau 4) dans un rayon d'environ un kilomètre autour du site. Il n'est donc pas à exclure un usage privatif des eaux souterraines.

Réf. BSS	Localisation	Ouvrage	Profondeur	Usage
10198X0066	≈ 350 m au Nord	puits	3,22 m	arrosage jardin potager
10198X0067	≈ 780 m au Nord-Est	puits	8,98 m	usage agricole (ferme)
10198X0068	≈ 680 m au Nord-Est	puits	9,10 m	inutilisé
10198X0099	≈ 100 m au Nord-Est	puits	12,68 m	usage domestique (ménage)
10198X0100	≈ 750 m au Nord-Est	puits	7,10 m	inutilisé
10198X0142	≈ 100 m au Nord	puits	7,28 m	arrosage jardin potager
10198X0143	≈ 500 m au Nord-Ouest	puits	8,24 m	inutilisé
10198X0144	≈ 450 m au Nord-Ouest	puits	3,58 m	inutilisé
10198X0154	≈ 30 m à l'Est	puits	14,5 m	non renseigné

*\*usage constaté lors de la création de la fiche BSS. L'usage actuel n'est pas connu*

**Tableau 4 : Points d'eau recensés dans un rayon d'un kilomètre**

Ces forages sont situés au Nord de la zone d'étude, soit vraisemblablement en amont hydraulique si l'on suppose un écoulement des eaux en direction du Chenal de Caronte et de la mer. *A priori* seul le puits 10198X0154 se situerait en aval du site Azur Chimie.

La Figure 8 présente la carte de localisation des points d'eau à moins d'1 km.

### 3.5. Zones remarquables ou protégées

D'après le site de la DREAL (Direction Régional de l'environnement, de l'aménagement et du logement), la zone d'étude est en dehors de toute zone naturelle protégée.

## 4. Activités potentiellement polluantes voisines

### 4.1. Activités voisines répertoriées dans la base de données BASIAS

Plusieurs sites industriels sont répertoriés sur la zone d'étude même :

- PAC1310292 : RETIA / ALBEMARLE CHEMICALS / ex: Atofina / ex.ALBEMARLE Corporation / ex.ORHO CHEVRON Chemical Company / Ferro chemicals SA / SA KUHLMANN : **Ces établissements correspondent à l'ancienne usine Azur Chimie ;**
- PAC1303186 : KUHLMANN : **Cet établissement correspond à l'ancienne usine Azur Chimie ;**
- PAC1314692 : **Cet établissement correspond à l'ancienne usine Azur Chimie ;**
- PAC1302705 : ALBEMARLE : **Cet établissement correspond à l'ancienne usine Azur Chimie.**

Plusieurs sites industriels sont présents dans un rayon de 500 autour de la zone d'étude (Figure 9). Ils sont répertoriés dans le Tableau 5, ci-après. Il apparaît que plusieurs activités potentiellement polluantes (fabrication de produits chimiques, ...) ont été recensées à proximité du site. Au regard de leur localisation et des directions préférentielles d'écoulement des eaux souterraines seul le site PAC1303179 (stockage d'hydrocarbures) aurait pu avoir un impact sur la zone Nord, voire le site Azur Chimie.

Référence	Etablissement (date de création)	Localisation	Activités
PAC1303179	Julien Millian	Secteur Nord	- Dépôt de liquide inflammable (hydrocarbures de type carburant, fuel, essence, acétylène...). Capacité 40 m <sup>3</sup> . Date de début d'exploitation en 1967. Date de fin d'exploitation non connue
PAC1310286	Société des électrodes et réfractaires « Savoie » (SERS) (10/02/1972 – 20/12/1984)	≈ 100m au sud	- Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.) - Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques - Production et distribution de vapeur (chaleur) et d'air conditionné
PAC1313409	S.A. SOBROM (01/02/1974 – activité terminée)	≈ 125 m à l'ouest	- Fabrication de savons, de produits d'entretien et de parfums
PAC1316019	Société PLR (Provence Location Récupération) (inconnue – activité terminée)	≈ 200 m à l'est	- Démantèlement d'épaves, récupération de matières métalliques recyclables (ferrailleur, casse auto... ) - Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.) - Décharge de pneus usagés
PAC1303181	Manuel Mantos (01/01/1967 – activité terminée)	≈ 225 m au nord	- Fabrication de machines agricoles et forestières (tracteurs...) et réparation
PAC1302696	ETS KUHLMANN (01/01/1916 – en activité et partiellement en friche)	≈ 250 m à l'ouest	- Fabrication de produits chimiques de base, de produits azotés et d'engrais, de matières plastiques de base et de caoutchouc synthétique - Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.) - Fabrication de produits chimiques de base, de produits azotés et d'engrais, de matières plastiques de base et de caoutchouc synthétique - Métallurgie du cuivre (production et première transformation) - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base n.c.a. - Stockage de produits chimiques (minéraux, organiques, notamment ceux qui ne sont pas associés à leur fabrication, ...) - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base - Collecte et traitement des eaux usées (station d'épuration) - Compression, réfrigération - Production et distribution de vapeur (chaleur) et d'air conditionné
PAC1312653	Société Immobilière et de Portefeuille Provence-Normandie (18/02/1970 – en activité)	≈ 325 m à l'est	- Garages, ateliers, mécanique et soudure - Carrosserie, atelier d'application de peinture sur métaux, PVC, résines, plastiques (toutes pièces de carénage, internes ou externes, pour véhicules...)
PAC1310365	SA MAVRAC (Marseille-Vrac), groupe LB Chimie (10/08/1997 – en activité)	≈ 375 m au sud	- Stockage de produits chimiques (minéraux, organiques, notamment ceux qui ne sont pas associés à leur fabrication, ...) - Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.) - Stockage de produits chimiques, de produits issues de la mine, de produit liquides inflammables et de boues diverses
PAC1317198	Station service Carrefour (inconnue – en activité)	≈ 400 m au nord	- Commerce de gros, de détail, de desserte de carburants en magasin spécialisé (station service de toute capacité de stockage)
PAC1302701	Usine de la Vieille Montagne (01/01/1926 – activité terminée)	≈ 450 m à l'ouest	- Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base n.c.a. - Métallurgie du plomb, du zinc ou de l'étain (production et première transformation) - Stockage de produits chimiques (minéraux, organiques, notamment ceux qui ne sont pas associés à leur fabrication, ...)
PAC1312104	Société LBC Marseille-Fos (13/05/1997 – en activité)	≈ 475 m au sud	- Activités de soutien à l'agriculture et traitement primaire des récoltes (coopérative agricole, entrepôt de produits agricoles stockage de phytosanitaires, pesticides, ...) - Fabrication, fusion, dépôts de goudron, bitume, asphalte, brai - Production et distribution de vapeur (chaleur) et d'air conditionné - Compression, réfrigération - Décharge de déchets industriels banals (D.I.B.) - Décharge de déchets industriels spéciaux (D.I.S.) - Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.) - Stockage de produits - Stockage de produits chimiques (minéraux, organiques, notamment ceux qui ne sont pas associés à leur fabrication, ...) - Dépôt ou stockage de gaz (hors fabrication cf. C20.11Z ou D35.2) - Stockage de produits chimiques, de produits issues de la mine, de produit liquides inflammables et de
PAC1317276	Maritima – groupe CFT (Compagnie Fluviale de Transport) (inconnue – en activité)	≈ 480 m à l'ouest	- Stockage de produits

**Tableau 5 : Inventaire des sites BASIAS localisé dans un rayon de 500 m autour de la zone d'étude**

## **4.2. Activités voisines répertoriées dans la base de données BASOL**

Le site AZUR CHIMIE est le seul site recensé dans la base de données BASOL (Base de données des sites pollués faisant l'objet d'actions de la part de l'Administration) sous les numéros 13.0080 et 13.0083 pour une pollution des sols et de la nappe par des composés bromés et chlorés ainsi que des fongicides.

## 5. Description des impacts

### 5.1. Synthèse des investigations réalisées sur la zone d'étude

Les investigations antérieures réalisées au droit du site ont porté sur les matrices sol, eaux souterraines. Elles sont résumées dans le Tableau 6.

Référence et date des investigations	Site concerné	Nature - objectif	Investigations
Dames&Moore 1988 - 1989	Azur chimie FR		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 15 sondages sol jusqu'à une profondeur maximale de 14 m : B1 à B15</li> <li>- Equipement des 15 sondages sol en piézomètres : B1 à B15</li> <li>- Foration de 6 piézomètres supplémentaires : 0-1 à 0- 6m</li> <li>- Prélèvement d'échantillons d'eau superficielle de deux échantillons de sédiments dans le Vallat Saint-Jean (localisation inconnue)</li> </ul>
N° 03818-223-412 Dames&Moore 1999	Azur chimie FR	Phase B Investigations de terrain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 25 sondages sol jusqu'à une profondeur d'environ 5 m : DM99-1 à DM99-9, P1 à P10, MLP-2 à MLP-5, B5-R et PDT</li> <li>- l'échantillon B5-R (2,5 – 2,9 m) caractérise les déchets mis en remblais par ATOFINA</li> <li>- l'échantillon MLP (4,5 – 4,9 m) caractérise le terrain naturel sous les déchets mis en remblais par ATOFINA</li> <li>- l'échantillon P10 (2 – 2,4 m) caractérise les sols avant création du site.</li> <li>- Equipement des 25 sondages de sol en piézomètre (B5-R remplace le piézomètre B5 colmaté)</li> <li>- Prélèvement de trois échantillons d'eau superficielle dans le Vallat Saint-Jean (UR, MR et LR)</li> </ul>
N°42100-006 RE 02 051 URS 2002	Azur chimie FC sud et FR	Evaluation Détaillée des Risques pour la Santé Humaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi de la qualité des eaux du Vallat Saint-Jean sur 6 points</li> <li>- Prélèvement et analyses des eaux souterraines au droit des ouvrages DM99-1 à DM99-4, DM99-8, B5-R, B10 et MLP2 à MLP-5</li> </ul>
N°31748/A d'Antea group pour l'usine ATOFINA (septembre 2003)	Azur chimie FC sud	Diagnostic de pollution des sols (Dibromoéthane, plomb, arsenic et PCB) et des eaux souterraines (solvants halogénés, plomb tétraéthyle) sur l'usine sud	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation, prélèvement et analyse de 5 sondages entre 0 et 2,5m</li> <li>- Réalisation, prélèvement et analyse de 10 sondages entre 0 et 2.9</li> <li>- Réalisation, prélèvement et analyse de 5 piézomètres à une profondeur comprise entre e5,75 et 13,5m</li> <li>- Prélèvement et analyse de 9 piézomètres</li> </ul>
N°51 091/1 de Sobesol (novembre 2004)	Azur chimie FR	Reconnaissance des sols	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation de 9 Sondages carottés au carottier double à une profondeur de 1,5 à 8m</li> <li>- Réalisation de 32 piézomètres de 8m de profondeur</li> </ul>
N°36987/A d'Antea group (février 2005)	Azur chimie FC sud et FR	Reconnaissance sol-nappe Bromodécane	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réalisation, prélèvement et analyse de 3 sondages carottés au carottier double à une profondeur de 2 à 5m</li> </ul>
N°51891 Antea group (novembre 2008)	Azur chimie FC	Suivi piézométrique de 16 ouvrages	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélèvement et analyse de 15 piézomètres</li> </ul>
N°53169 Antea group (janvier 2009)	Azur Chimie FC sud	Suivi piézométrique de 16 ouvrages, campagne de décembre 2008	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prélèvement et analyse de 16 piézomètres</li> </ul>

Référence et date des investigations	Site concerné	Nature - objectif	Investigations
N° 57328/A d'Antea group (juin 2010)	Azur chimie FC sud, FR et zone de pompage	Diagnostic environnemental du sous-sol, Plan de gestion	- Réalisation de 76 sondages à une profondeur comprise entre 1,2 et 3,5m - Réalisation de 8 piézomètres à une profondeur comprise entre 4,4 et 7,1m
N° 79827 Antea Group Mai 2015	Toute la zone d'étude	Rapport de prélèvement d'eau souterraine	- Prélèvement et analyses des eaux souterraines au droit de 9 piézomètres
N° 80171 Antea group Juin 2015	Toute la zone d'étude	Rapport de prélèvement de sol	- Réalisation, prélèvement et analyse de 35 sondages à la pelle mécanique jusqu'à une profondeur de 3m - Réalisation, prélèvement et analyse de 30 sondages à la tarière mécanique ou au carottier battu jusqu'à une profondeur de 3m

**Tableau 6 : Investigations réalisées sur le site**

## 5.2. Impacts sur les sols

### 5.2.1. Référentiel

Conformément à la politique des sites et sols pollués (circulaire du 8 février 2007), le référentiel utilisé est basé sur :

- Pour les **paramètres inorganiques**, le bruit de fond géochimique national pour des « sols ordinaires » et dans le cas « d'anomalies naturelles modérées » (INRA – Août 2004) ainsi que le bruit de fond local. Ce dernier a été étudié dans le cadre du rapport A78204/A « Détermination du bruit de fond géochimique industriel et urbain- Ancienne usine Nord ou site Arkéma », Antea Group Décembre 2014 ;
- Pour la plupart des **paramètres organiques**, non présents à l'état naturel dans le sous-sol, il est d'usage de considérer une anomalie dès lors que les concentrations sont supérieures à la limite de quantification du laboratoire. Compte tenu du contexte urbain l'appréciation sera nuancée selon les concentrations détectées et la toxicité de l'élément considéré. Pour le cas particulier des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) et des PolyChloroBiphényles (PCB), les valeurs mesurées dans le rapport A78204/A cité ci-dessus seront utilisées.
- **Caractère inerte des matériaux à évacuer**  
 A titre indicatif, les critères d'acceptabilité des matériaux dans les Installations de Stockage de Déchets **Inertes** (ISDI) donnés par l'arrêté du 12 décembre 2014, pourront également être utilisés.

### 5.2.2. Description des impacts

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

#### 5.2.2.1. Métaux

Globalement, un impact en métaux est présent sur la quasi-totalité du site. Les zones les moins impactées sont le nord et l'est de la zone d'étude. Le secteur FR et Sud présentent pour leur part des impacts significatifs.

■ **Arsenic :**

La quasi-totalité des remblais du secteur FC et du secteur de la zone de pompage d'eau de mer (Sud) présente des concentrations supérieures à 25 mg/kg (soit le seuil haut d'anomalies naturelles modérées ou environ 3 fois le bruit de fond résidentiel moyen).

Seuls deux sondages situés au sud de la zone d'étude dans la zone de pompage et au sud du secteur FC présentent une concentration de 13 et 14 mg/kg.

La concentration maximale mesurée est de 5300 mg/kg au sud du secteur FC à proximité des anciens bassins de station d'épuration. Les autres concentrations supérieures à 700 mg/kg se situent en aval et à proximité de la zone BABE, à proximité de la zone de PYROCHEK et à l'ouest de la zone de conditionnement de PYROCHEK.

Concernant le secteur Nord, il a été mis en évidence un impact en arsenic avec des concentrations comprises entre 10 et 500 mg/kg. Les concentrations sont décroissantes du sud vers le nord, avec la partie sud de ce secteur qui est plus impactée.

D'autre part, pour le secteur FR, l'impact en arsenic a été révélé dans sa limite ouest.

Les sols sous-jacents présentent également des contaminations en arsenic avec des concentrations supérieures comprises entre 1,5 et 3170 mg/kg (moyenne à 151 mg/kg) indiquant un impact profond probablement lié au remplissage de l'ancien étang.

La carte des impacts en arsenic dans le premier mètre de sol est présentée sur la Figure 10.

■ **Plomb :**

L'impact en plomb s'étend de la même manière que l'impact en arsenic. La quasi-totalité du site est impactée par une contamination en plomb avec des concentrations supérieures à 40 mg/kg (soit l'ordre de grandeur du bruit de fond résidentiel moyen qui a été estimé à 42 mg/kg).

Les secteurs sud du pompage, le secteur FC et le sud du secteur Nord sont fortement impactés. Les concentrations sur ces trois zones sont comprises entre 100 et 14000 mg/kg.

Les zones les plus marquées (avec des contaminations supérieures à 1000 mg/kg) sont :

- Au sud de la zone BABE (max 14 000 mg/kg),
- Au droit de la zone BABE (max de 9000 mg/kg),
- Au droit de l'ancien bâtiment brome (max 10 059 mg/kg),
- Au droit et à proximité de la parcelle 168 dans la partie nord de la zone d'étude (max 8 700 mg/kg),
- A proximité des anciens bassins de la station d'épuration (max 8 200 mg/kg),
- La partie sud de la zone d'étude, à proximité de la zone de pompage (max de 7 900 mg/kg).

Le secteur FR et le nord du secteur Nord sont également impactés mais de façon moindre. En effet, pour le secteur FR, 4 zones de contamination à plus de 100 mg/kg ont été mises en évidence : la partie nord-est du site, la zone à proximité du bâtiment de stockage et conditionnement de PYROCHEK et à proximité de l'atelier de fabrication de PYROCHEK.

Pour le secteur Nord, l'impact en plomb a été établi sur la limite est du secteur. La partie ouest du secteur présente des concentrations comprises entre 0 et 100 mg/kg.

Au droit de l'ancien site Azur Chimie, les sols sous-jacents présentent également des contaminations en plomb avec des concentrations supérieures allant jusqu'à 29 000 mg/kg (moyenne à 2 030 mg/kg).

La carte des impacts en plomb dans le premier mètre de sol est présentée sur la Figure 11.

#### ■ **Mercure :**

Le mercure fait parti du complexe As-Pb-Hg qui est lié aux activités de grillage de pyrite et sa répartition est logiquement proche de celle décrite précédemment pour le plomb et l'arsenic.

Une grande partie de la zone d'étude présente des concentrations supérieures à 0,3 mg/kg qui correspondent au bruit de fond local moyen (le seuil d'anomalie naturelle modéré étant de 0,1 mg/kg).

Les secteurs sud du pompage, le secteur FC et le sud du secteur Nord (au droit et à proximité de la parcelle 168) sont fortement impactés. Les concentrations sont, sur ces trois zones, majoritairement comprises entre 0,3 et 34 mg/kg.

Les principales zones impactées sont à proximité des anciens bassins de la station d'épuration au sud de FC, au niveau des bâtiments Vestiaire et au sud est de la zone BABE.

Le secteur FR et le nord du secteur N sont également impactés mais de façon moindre. Pour ces secteurs, les zones contaminées sont identiques à aux zones contaminées par le plomb.

Pour le nord de la zone d'étude, les concentrations mesurées sont inférieures à 0,3 mg/kg.

Au droit des zones impactées de l'ancien site Azur Chimie, les sols sous-jacents présentent également des contaminations en mercure avec des concentrations supérieures comprises entre 0,05 et 65 mg/kg (moyenne à 4,4mg/kg).

La carte des impacts en mercure dans le premier mètre de sol est présentée sur la Figure 12.

#### ■ **Cadmium :**

La zone d'impact en cadmium est similaire aux zones d'impact pour les métaux vu précédemment.

Les secteurs sud du pompage, le secteur FC et le sud du secteur N (au droit et à proximité de la parcelle 168) sont les plus marqués avec des concentrations supérieures à 2 mg/kg (correspond à la valeur haute de la gamme de valeurs d'anomalies modérées ou au bruit de fond urbain moyen dans la zone d'étude).

La zone de pompage d'eau de mer, au sud de la zone d'étude est la plus largement impactée en termes d'étendue. Les concentrations sont, sur cette zone, comprises entre 10 et 100 mg/kg.

Pour le secteur FC ainsi qu'au droit et à proximité de la parcelle 168, les concentrations sont comprises entre 2 et 310 mg/kg. La concentration maximum se trouve sur la parcelle 168 au nord de FC.

Concernant le secteur FR, les concentrations sont plus faibles (entre la limite de quantification et 10 mg/kg), avec un impact plus prononcé sur la limite ouest de FR avec des concentrations comprises entre 2 et 10 mg/kg.

Au droit des zones impactées de l'ancien site Azur Chimie, les sols sous-jacents présentent également des contaminations en cadmium avec des concentrations comprises entre 0,13 et 200 mg/kg (moyenne à 11mg/kg).

La carte des impacts en cadmium dans le premier mètre de sol est présentée sur la Figure 13.

#### ■ **Cuivre :**

La répartition du cuivre obéit aux mêmes logiques que précédemment avec des remblais largement impactés avec presque toutes les concentrations supérieures au bruit de fond urbain moyen (34 mg/kg). Sur les secteurs Sud, FC et le sud du secteur N (au droit et à proximité de la parcelle 168), les concentrations mesurées sont élevées avec presque toutes les valeurs supérieures à 300 mg/kg, soit 10 fois le bruit de fond urbain. La teneur maximale détectée est de 7 500 mg/kg dans les remblais, au sud de la zone d'étude. Les autres teneurs sont ensuite inférieures à 3 700 mg/kg.

La partie nord-est de la zone d'étude est également impactée avec quelques concentrations comprises entre 100 et 300 mg/kg.

Au droit des zones impactées de l'ancien site Azur Chimie, les sols sous-jacents présentent également des contaminations en cuivre avec des concentrations supérieures comprises entre 1 et 11000 mg/kg (moyenne à 700mg/kg).

La carte des impacts en cuivre dans le premier mètre de sol est présentée sur la Figure 14.

#### ■ **Zinc :**

De la même manière, la teneur en zinc dépasse largement le bruit de fond urbain local de 215 mg/kg sur presque la totalité des échantillons prélevés sur la zone d'étude. A l'exception du nord du secteur N et du sud-est du secteur FR.

La teneur maximale en zinc dans les remblais a été mise en évidence au droit de S58 avec une valeur de 20 000 mg/kg. Ce sondage se trouve au sud est de FC en limite de FR. Le secteur sud, avec la zone de pompage d'eau de mer, est le plus impacté avec 7 sondages à des concentrations comprises entre 3200 et 16000 mg/kg.

A proximité de la parcelle 168 dans le secteur N, les remblais sont également impactés. La concentration maximale est de 9 200 mg/kg au droit de P7.

Un impact est également mis en évidence sur la limite nord est de la zone d'étude, à proximité de l'atelier de fabrication de PIYROCHEK.

Les sols sous-jacents présentent également des contaminations en zinc avec des concentrations supérieures comprises entre 4 et 51000 mg/kg (moyenne à 1900 mg/kg).

La carte des impacts en zinc dans le premier mètre de sol est présentée sur la Figure 15.

#### ■ Chrome :

Les concentrations en chrome dépassent généralement la valeur du bruit de fond urbain moyen (15 mg/kg) sur les remblais de la zone d'étude mais dépassent rarement 90 mg/kg (6 sondages sur 87). La valeur de 90 mg/kg correspondant à la valeur haute de la gamme des valeurs ordinaires. Les zones d'impact les plus importantes se situent dans le secteur sud, l'ancienne zone de pompage d'eau de mer (130 et 120 mg/kg) et au nord de la zone de fabrication de PYROCHEK (130 mg/kg).

Au droit des zones impactées de l'ancien site Azur Chimie, les sols sous-jacents présentent des concentrations en chrome comprises entre 2,9 et 61 mg/kg (moyenne à 22mg/kg), soit inférieure à la valeur de haute de référence (de 90 mg/kg).

La carte des impacts en chrome dans le premier mètre de sol est présentée sur la Figure 16.

#### ■ Nickel :

Les concentrations en nickel sont souvent supérieures au bruit de fond urbain moyen (16 mg/kg) mais sont en majorité inférieures à 60 mg/kg correspondant à la valeur haute de la gamme des valeurs ordinaires.

Seuls trois sondages ont mis en évidence des concentrations plus élevées : S54 (110 mg/kg) au centre de FR, S41 (76 mg/kg) et S43 (60 mg/kg) à proximité de l'atelier de fabrication de PYROCHEK sur le secteur FR. Le nickel ne constitue pas une contamination dans la zone d'étude.

La carte des impacts en nickel dans le premier mètre de sol est présentée sur la Figure 17.

#### **En conclusion :**

Le trio As-Pb-Hg, lié au grillage de pyrite ainsi que le cadmium, le cuivre et le zinc impactent très largement les remblais superficiels des secteurs sud, FC et nord de FC. Les impacts les plus importants sont en particulier :

- Au droit et au sud de la zone BABE
- Au droit et en aval de l'ancien bâtiment brome
- A proximité de la parcelle 168 dans la partie nord de la zone d'étude
- A proximité des anciens bassins de la station d'épuration au sud de FC
- Au sud de la zone d'étude, à proximité de la zone de pompage
- A proximité de l'atelier de fabrication et du bâtiment de conditionnement de PYROCHEK

Ces remblais ont visiblement été déposés dans le cadre du remblaiement de l'étang de la Gafette et provenaient très probablement des activités de grillage de pyrite des établissements *Kuhlmann* voisins.

La partie nord de la zone d'étude et le secteur FR sont beaucoup moins impactés en termes de concentrations mais les mesures ont toutefois montré quelques dépassements des valeurs de bruit de fond urbain local et/ou des seuils de valeurs ordinaires pour l'As-Pb-Hg, le Cd, le Cu et le Zn, en particulier aux abords de la limite ouest et nord-ouest du secteur FR et en limite est de la zone nord.

#### 5.2.2.2. Composés organiques

##### ■ Hydrocarbures totaux :

Les teneurs en Hydrocarbures Totaux mesurées dans les sols sont généralement inférieures ou dans l'ordre de grandeur de la valeur de référence de 500 mg/kg sur la zone d'étude. Seuls cinq sondages ont présenté des concentrations supérieures à la valeur de référence :

- Au droit du parking des bureaux administratif au nord de FC (7600 mg/kg),
- Au droit de la benne à déchet au nord de FC (611 mg/kg),
- A proximité de la zone BABE (inférieure à 809 mg/kg),
- Au nord et à proximité de la zone de fabrication de PYROCHEK (inférieur à 1440 mg/kg).

La carte des impacts en hydrocarbure total dans le sol est présentée sur la Figure 18.

##### ■ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) :

Les teneurs en HAP mesurées dans les sols sont, pour la quasi-totalité des prélèvements, inférieures à la valeur de référence de 50 mg/kg. Seuls quatre sondages ont présenté des concentrations supérieures à cette valeur de référence :

- C46 avec une concentration moyenne de 730 mg/kg au niveau de la benne à déchet au nord de FC ;
- C63 avec une concentration moyenne de 400 mg/kg au niveau du parking au nord des bureaux administratifs de FC ;
- C57 avec une concentration moyenne de 150 mg/kg au nord de l'atelier de fabrication de PYROCHECK sur FR ;
- C1 avec une concentration moyenne de 113mg/kg au sud du magasin mécanique du secteur FR.

La carte des impacts en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans le sol est présentée sur la Figure 19.

##### ■ PolyChloroBiphényles (PCB) :

Les teneurs en PCB mesurées dans les sols sont, pour la quasi-totalité des prélèvements, inférieures à la valeur de référence de 1 mg/kg. Seuls trois sondages ont mis en évidence des concentrations comprises entre 1 et 10 mg/kg :

- Deux sondages à proximité de l'atelier de fabrication de PYROCHEK (concentration maximale de 5,3 mg/kg) ;
- C46 au niveau de la benne à déchet au nord de FC (concentration de 1,1 mg/kg)

La carte des impacts en PolyChloroBiphényles (PCB) dans le sol est présentée sur la Figure 20.

■ **COHV, BTEX et Hydrocarbures bromés :**

Parmi les COHV, BTEX et Hydrocarbures bromés recherchés lors des investigations, trois d'entre eux ont été retenus pour l'étude détaillée des impacts car ils sont les traceurs des activités passées et ont été mesurés en quantité importantes. Ils reflètent l'impact global en COHV.

○ **1,2-dichloroéthane**

Le 1,2-dichloroéthane est un traceur des activités ayant eu cours sur le site Azur Chimie. Le composé est détecté sur les secteurs FR et FC, dans des concentrations allant jusqu'à 230 mg/kg. Majoritairement les impacts sur le secteur FR sont plus importants. Les zones marquées sont à proximité au sud ouest de l'atelier de fabrication PYROCHEK (maximum des teneurs : 230 mg/kg), au nord est du secteur FR (maximum des teneurs : 9 mg/kg) et dans la partie centrale de FR (maximum des teneurs : 68 mg/kg). La carte des impacts en 1,2-dichloroéthane dans le sol est présentée sur la Figure 21.

○ **1,2-dibromoéthane**

Le 1,2-dibromoéthane est également un traceur des activités ayant eu cours sur le site Azur Chimie. Le composé est détecté sur les secteurs FR et FC, dans des concentrations allant jusqu'à 25 mg/kg.

Majoritairement les impacts sur le secteur FC sont plus importants. Les zones touchés sont au droit et au sud est et ouest de l'ancien bâtiment brome (maximum de teneurs : 3,1 mg/kg) et à proximité et au sud de l'ancienne zone BABE (maximum de teneurs 25 mg/kg).

Un seul sondage a également détecté la présence de ce composé sur le secteur FR : C57 à 0,31 mg/kg de DBE. Ce sondage est situé au Nord de l'atelier PYROCHEK.

La carte des impacts en 1,2-dibromoéthane dans le sol est présentée sur la Figure 22.

○ **Tétrachlorure de carbone**

Le tétrachlorure de carbone est également un traceur des activités ayant eu cours sur le site Azur Chimie. Il a été détecté en bordure sud et est du secteur FC ainsi que sur le secteur FR avec des concentrations comprises entre 0,14 et 19 mg/kg et un maximum de 19 mg/kg au droit de la zone BABE. Le secteur sud de la zone BABE est le plus impacté avec des concentrations de 6,4 à 8,5 mg/kg.

Concernant le secteur FR, 6 sondages révèlent un impact en tétrachlorure. 4 d'entre eux sont proches de la limite ouest du secteur au droit et en aval de la zone PYROCHEK. Deux autres sondages sont également impactés : l'un en bordure nord est du secteur qui présente une teneur de 0,62 mg/kg ; l'autre en partie central au droit de C51 avec une teneur de 0,69 mg/kg.

La carte des impacts en tétrachlorure de carbone dans le sol est présentée sur la Figure 23.

○ **Impact global en solvant halogéné**

La carte en Figure 24 présente l'impact global en solvants sur le site. Elle détaille les teneurs additionnées de tous les solvants halogénés présents sur site. Seules les concentrations supérieures à la limite de quantification ont été utilisées.

De manière générale, les secteurs FR et FC sont impactés de façon importante. La zone FC présente 23 sondages où au moins un composé halogéné a été détecté, sur 40. Pour le secteur FR, 25 sondages sur 33 sont impactés par au moins un composé halogéné. Les concentrations sont variables avec des maximums de 232,5 mg/kg, 68 mg/kg et 57 mg/kg. Ils sont situés respectivement à proximité de l'atelier de fabrication de PYROCHEK, au centre du secteur FR et au sud ouest de la zone BABE.

**En conclusion :**

De manière générale, les secteurs FR et FC sont fortement impactés en composés organiques principalement par les solvants halogénés.

Les zones d'impacts sont :

- l'ancien bâtiment brome
- la zone des vestiaires
- le nord est de FR
- le sud est de FR
- la zone frontière entre FR et FC
- la zone PYROCHEK
- la zone BABE
- le sud ouest de l'ancien bâtiment brome

### **5.3. Impacts sur les eaux souterraines**

#### **5.3.1. Référentiel**

Conformément à la politique des sites et sols pollués (circulaire du 8 février 2007), le référentiel utilisé est basé sur la référence aux ouvrages amont. La présence d'un dôme piézométrique au droit du site ne permet pas de retenir comme valeur de référence les concentrations mesurées dans un ou plusieurs ouvrages positionnés en amont hydraulique et non influencés par les activités du site.

A titre indicatif et en l'absence d'ouvrage amont sur le site, les valeurs de l'Arrêté Ministériel du 11 janvier 2007 ont été utilisées :

- Valeurs limites de qualité des eaux brutes de toute origine utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine proposées dans l'annexe II.
- Valeurs limites et de référence des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées, proposées dans l'annexe I.

#### **5.3.2. Description des impacts**

Les résultats de la dernière campagne de prélèvement réalisée par Antea Group dans le cadre de l'élaboration de ce plan de gestion et du premier plan de gestion de l'ancienne usine Azur Chimie ont été utilisés.

**Au niveau de la zone Nord**, aucun piézomètre n'est implanté, la formation géologique sous jacente (bégudien) n'est pas propice à la présence d'une nappe continue de grande extension.

**Au niveau du site Azur chimie**, la dernière campagne, de février 2015, a fait ressortir un impact fort en composés halogénés et disulfures de carbone dans la partie centrale du site : au droit de l'ancien atelier BABE et du bassin de lissage ainsi qu'en aval de l'atelier PYROCHEK au nord du site. Des concentrations de plusieurs dizaines de mg/l de tétrachlorométhane et trichlorométhane ont ainsi été détectées. En périphérie du site (hormis l'aval de l'atelier PYROCHECK), les impacts sont de plusieurs ordres de grandeur, inférieurs à ceux de la partie centrale/aval PYROCHECK, ce qui semble plaider pour une faible mobilité de la pollution. A noter également la présence de pesticides en concentration nettement supérieure à la valeur de référence pour le tétrahydroptalimide en aval de l'atelier PYROCHECK.

Concernant les métaux : l'arsenic, le molybdène et le sélénium présentent des dépassements des valeurs de référence. Toutefois, aucun zonage d'impact précis n'est mis en évidence, notamment pour l'arsenic dont les concentrations semblent être homogènement réparties, sauf au coin nord-ouest du site et donc liées à la présence de remblais riches en métaux provenant des anciennes activités de grillage de pyrite et molybdénite.

Ces résultats ont été comparés aux dernières données disponibles datant de 2010. Ils ne mettent pas en évidence de tendance d'évolution des concentrations en composés halogénés si ce n'est une baisse assez remarquable des concentrations en composés halogénés en partie Est du site (piézomètre P4 FR).

**Au niveau de la zone Sud (ancienne pomperie)**, seuls les résultats de la dernière campagne de 2010 sont disponibles, les piézomètres n'ayant pas été retrouvés en 2015. Ces résultats montraient un impact léger en manganèse et plomb sur le piézomètre P107 (Ouest de la zone Sud : parcelle 36) et un impact léger en solvants halogénés à l'exception d'une forte concentration en 1,2-dibromoéthane (1200 µg/l) sur le P107 également.

**En conclusion :**

La campagne de février 2015 a confirmé la présence d'un impact fort en composés halogénés en partie centrale du site et en aval de l'atelier PYROCHECK. Cette contamination est peu mobile mais ne semble pas se dégrader rapidement dans le temps. Concernant les métaux, ils sont finalement assez peu concentrés dans les eaux souterraines, démontrant le caractère peu lixiviable des pollutions de sol. Des traces de pesticides (tétrahydroptalimide et ofurace) ont été mises en évidence au droit du site Azur Chimie, mais l'impact reste limité en termes de concentration. Pour finir, des traces de disulfure de carbone ont également été révélées au droit de deux piézomètres : au sud ouest de la zone BABE et à l'est de l'atelier de PYROCHECK. A noter un fort impact uniquement en 1,2-dibromoéthane au niveau de l'ancienne pomperie. Cette présence n'est pas expliquée.

## 5.4. Impacts sur les gaz de sol

### 5.4.1. Référentiel

Aucun référentiel n'est disponible pour les gaz de sol

### 5.4.2. Description des impacts

Huit analyses de gaz de sol ont été réalisées dans le cadre de la réalisation du premier plan de gestion (Rapport Antea Group n°A57328, « Plan de gestion au droit de l'ancienne Usine Azur Chimie »).

La zone BABE et le sud de cette zone ainsi que la zone de stockage de DBE et l'ancienne zone de rejet d'effluent (de FR) ont mis en évidence un impact fort composés organiques halogénés avec des concentrations respectives de 3108,6 µg/m<sup>3</sup>, 4790,5 µg/m<sup>3</sup>, 1649,6 µg/m<sup>3</sup> et 2995,1 µg/m<sup>3</sup>.

Concernant les hydrocarbures, des impacts ont été mis en évidence au droit de la zone BABE, du bâtiment brome et de la zone de remblais.

Le 1,2 Dibromoéthane (DBE) a été détecté en concentration significative (5383,75 µg/m<sup>3</sup>) au droit du bâtiment brome et à proximité de la zone de stockage de DBE.

De plus un impact en disulfure de carbone a été relevé au droit de la zone BABE avec une concentration de 39,4 µg/m<sup>3</sup>.

Pour finir, ces analyses ont mis en évidence un impact en éthylbenzène et en xylène au droit de la zone BABE et de l'ancien bâtiment brome.

#### **En conclusion :**

Quatre zones contenant des gaz contaminés ont été mises en évidence lors de la réalisation du plan de gestion de 2010 : la zone BABE, l'aval de la zone BABE, le bâtiment brome et la zone de stockage de DBE. Ces quatre zones coïncident avec les zones où le sol et l'eau souterraine sont contaminés.

## 6. Schéma conceptuel

### 6.1. Définition

Le schéma conceptuel est l'outil fondamental permettant d'identifier les points clé de la gestion d'une situation environnementale. L'identification des risques est basée sur une approche "Source – Vecteur – Cible", le risque sanitaire résultant de la concomitance de ces 3 facteurs.

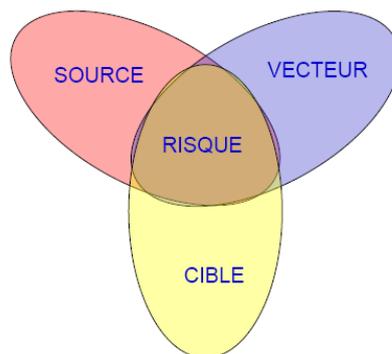


Schéma 1 : Schéma d'identification des risques

Le schéma conceptuel permet d'illustrer les voies de transfert (vecteurs) potentielles depuis les sources de pollution du sous-sol vers les milieux d'exposition où peuvent être exposés les récepteurs (cibles).

### 6.2. Identification des zones sources

#### 6.2.1. Impacts en métaux

L'emplacement du site d'Azur Chimie correspondait en 1920 à des marais salins qui ont été progressivement comblés par les résidus d'exploitation du site voisin (**établissements kuhlmann**). Ainsi des remblais chargés en As-Pb-Hg, Cd et Zn issus grillage de pyrite ont été déposés sous le site Azur chimie du Sud-ouest vers le Nord-Est. Le secteur Nord est peu marqué car il n'a pas fait l'objet de remblaiements massifs. En fin de remplissage, dans les années 60-70, l'activité de fabrication d'acide sulfurique des établissements Kuhlmann (devenus la société de la Vieille Montagne en 1940) a décliné pour complètement s'arrêter en 1976. Ainsi des matériaux d'autre provenance que le site voisin ont été apportés pour finaliser le remplissage. Une partie des remblais provient d'ailleurs de l'activité même fabrication de brome et de ces dérivés (cf chapitre 6.2.2). Ceci se traduit aujourd'hui par des impacts importants en métaux en partie sud est du site Azur Chimie et au niveau de la pomperie d'eau de mer, qui ont été remblayés en premier, avec de fortes épaisseurs de remblais impactés (supérieures à 1 mètres) et des impacts en métaux moins importants voire nuls en partie Est et Nord-Est de la plateforme qui a été remblayée en dernier, avec des épaisseurs de remblais impactés en métaux moins importantes.

Au nord du site Azur chimie, au droit des parcelles cadastrales 167 à 174 qui bordent les habitations, les impacts sont limités sauf sur les parcelles 167 et 170 sur lesquelles des remblais fortement impactés en métaux ont été identifiés jusqu'à 0,5-0,7 m de profondeur.

Malgré ces impacts significatifs dans les sols, seuls 3 métaux (Arsenic, sélénium et molybdène) présentent des impacts significatifs sur la qualité de la nappe avec localement des concentrations pouvant représenter jusqu'à 5 fois la valeur de référence.

### 6.2.2. Impacts en solvants halogénés et fongicides

Le sous-sol de l'ancien site Azur chimie est significativement impacté par la présence de solvants halogénés et dans une moindre mesure de fongicides. Plusieurs zones source sont recensées :

**La principale source de pollution s'étend en partie centrale du site et comprend :** des anciens stockages de tétrachlorure de carbone (Atelier BABE), le bassin de lissage et une zone au droit de l'atelier PYROCHECK où différents remblais pollués ont été déposés :

- par l'activité d'ATOFINA dans le cadre du comblement des anciens salins, puis en particulier lors du comblement de la canalisation de rejet de l'effluent industriel d'Atofina (anciennement établissements Kuhlmann). Le canal (fossé à ciel ouvert) a été utilisé au moins jusqu'à 1978 pour drainer les effluents d'Atofina sans traitement préalable. Le fossé a été canalisé à partir de 1981 lors de la création de l'unité PYROCHECK-Ofurace ;
- par des remblais provenant de l'activité Calchimie du Midi, devenue Chevron puis Azur Chimie. Certains produits de fabrication (Captan, Tetrahydrophthalimide (THPI), Phaltan et Phthalimide (PI), Ofurace, Difolatan), non conformes pour être vendus, ont été broyés, reconditionnés et enfouis au droit de cette zone jusqu'en 1975 (mise en marche d'un incinérateur). En outre une canalisation de rejet de l'effluent industriel de Calchimie du Midi existait dans cette zone. Le canal a été bétonné à partir de 1956. Cette canalisation a été utilisée pour drainer les effluents des ateliers de production du Captan et Folpet. A partir de 1975, la canalisation a été remblayée.

Cette zone source est principalement impactée, au droit de l'atelier BABE et du bassin de lissage, par la famille des chlorométhane, (tétrachlorure de carbone et de ses produits de dégradation, trichlorométhane puis dichlorométhane et chlorométhane), le 1,2-dibromoéthane, le disulfure de carbone (le CS<sub>2</sub> a été utilisé comme intermédiaire de synthèse pour la fabrication du tétrachlorure de carbone). Au droit de la zone de remblais, ces mêmes composés sont recensés avec en plus les fongicides qui étaient synthétisés sur le site : Ofurace, Phthalimide, Captan, Folpet, Tetrahydrophthalimide, Diméthylaniline. Des indices de présence de phase pure de composés halogénés ont été relevés en divers points de cette zone source.

**Des sources secondaires de pollution, beaucoup moins étendues sont également présentes :**

- **au droit des anciens stockages de dibromoéthane** (bâtiment brome) avec du 1,2-dibromoéthane et d'autres solvants chlorés
- **au droit des anciens bâtiments administratifs** (sans que soit explicable la présence de cette dernière source) avec encore du 1,2-dibromoéthane ;
- **au nord est du site au droit de l'ancienne station de traitement des effluents du secteur FR** avec divers solvants halogénés ;
- **au sud-est du site au niveau d'une ancienne zone d'enfouissement de sacs de pesticides.** A la demande de la DREAL, les sacs de pesticides ont été excavés en mai 2002 et éliminés hors-site dans un centre autorisé. Cette zone garde toutefois un impact résiduel en solvants halogénés.

La campagne la plus récente (février 2015) de prélèvement des eaux souterraines a confirmé un impact fort en composés halogénés et disulfures de carbone dans la partie centrale du site : au droit de l'ancien atelier BABE et du bassin de lissage ainsi qu'en aval de l'atelier PYROCHEK au nord du site. Des concentrations de plusieurs dizaines de mg/l de tétrachlorométhane et trichlorométhane ont ainsi été détectées.

En périphérie du site (hormis au Nord Est de l'atelier PYROCHECK), les impacts sont toutefois de plusieurs ordres de grandeur inférieurs à ceux de la partie centrale/aval PYROCHEK, ce qui semble plaider pour une faible mobilité de la pollution. Les pesticides sont beaucoup moins concentrés et répandus dans les eaux souterraines que les solvants halogénés même si localement (en aval de l'atelier PYROCHECK) la présence de pesticides en concentration nettement supérieure à la valeur de référence pour le tétrahydroptalimide a été mesurée.

La comparaison aux dernières données disponibles datant de 2010 ne met pas en évidence de tendance d'évolution des concentrations en composés halogénés si ce n'est une baisse assez remarquable des concentrations en composés halogénés en partie Est du site. Cette pollution est peu mobile mais ne semble pas se dégrader rapidement dans le temps.

A noter un point singulier d'impact significatif en 1,2-dibromoéthane au droit de l'ancienne station de pompage d'eau de mer sans qu'un impact proche ait été détecté dans les sols.

Les impacts sur les sols et les eaux souterraines induisent un impact net sur les concentrations en gaz de sols avec principalement la présence de 1,2 dibromoéthane, trichlorométhane, 1,2-dichloroéthane et tétrachlorométhane. Des prélèvements dans l'air ambiant de bâtiments (réalisés en janvier 2010) ont également permis d'identifier la présence de trichlorométhane, tétrachlorométhane, Cis-1,2-dichloroéthylène, 1,2-dichloroéthane et 1,2-dibromoéthane attestant du passage des composés halogénés des sols, à l'eau puis aux gaz de sol jusqu'à l'air ambiant dans des bâtiments.

### **6.2.3. Impacts en hydrocarbures et hydrocarbures Aromatiques Polycycliques**

Une zone d'impact significatif en hydrocarbures totaux est présente au droit du parking des bureaux administratif au nord du secteur FC avec une concentration de 7600 mg/kg et quelques impacts ponctuels significatifs en HAP avec un impact également au nord du secteur FC (730 et 400 mg/kg) et au nord de l'atelier de fabrication de PYROCHECK (150 mg/kg) et au milieu du site Azur Chimie (concentration moyenne de 113 mg/kg au sud du magasin mécanique du secteur FR).

### **6.3. Usages sur site**

La mairie de Port de Bouc envisage de reconvertir les parcelles cadastrales 167 à 174 en zone d'habitats collectifs. L'ancien site AZUR CHIMIE qui occupait les parcelles 144 et 145 seront reconverties pour l'installation d'activités industrielles légères. La Figure 25 présente les concepts du réaménagement de la zone d'étude.

### **6.4. Identification des voies de transfert et voies d'exposition**

Au regard des usages projetés des milieux concernés, seuls les modes d'exposition pertinents sont retenus pour permettre une réelle appréciation des risques potentiels. L'argumentation de ce choix est présentée dans le tableau suivant.

Sources considérées	Modes de transfert possibles	Milieu d'exposition	Voies d'exposition potentielles	Retenu	Justification
<b><u>SOLS IMPACTES</u></b>	Contact direct		Contact cutané	OUI	Le contact cutané avec les sols impactés est envisageable dans la mesure où ce sont bien les remblais de surface qui sont impactés.
	Contact direct		Ingestion	OUI	L'ingestion de sols impactés est à considérer pour les éventuels enfants qui pourraient jouer dans les espaces verts collectifs. En revanche, cette voie d'exposition ne concerne pas les futurs travailleurs adultes qui occuperont les bâtiments de la zone destinée aux activités industrielles.
	<b>Emission de volatiles</b>	Air	Inhalation de vapeurs	OUI	La présence de composés halogénés volatils dans l'air impose de considérer cette voie d'exposition.
	<b>Envol de poussières</b>	Poussières	Inhalation de poussière	OUI	L'inhalation de poussière ayant pour origine les sols impactés est à prendre en compte dans la mesure où ce sont bien les remblais de surface qui sont impactés.
	<b>Absorption par les légumes</b>	Légumes	Ingestion de fruits et légumes	NON	Le projet d'aménagement futur ne prévoit que des espaces verts collectifs, ainsi l'ingestion de fruits et légumes auto-produits n'est pas considérée.
	<b>Diffusion vers les canalisations</b>	Eau de distribution	inhalation, ingestion et contact cutané	OUI	La perméation des polluants au travers de canalisation concerne les produits organiques tels que les solvants halogénés largement présents sur le site. Dans le cas présent cette voie de transfert est donc à envisager pour les sols impactés en COHV.
<b><u>NAPPE IMPACTEE</u></b>	Contact direct		Contact cutané	NON	Non (absence d'usage sur site)
	Contact direct		Ingestion	NON	Non (absence d'usage sur site)
	<b><u>Emission de volatiles</u></b>	Air	Inhalation de vapeurs	OUI	La présence de composés halogénés volatils dans l'air impose de considérer cette voie d'exposition.
	<b><u>Aspersion de légumes</u></b>	Légumes	Ingestion de fruits et légumes	NON	Non (absence d'usage sur)

**Tableau 7 : Modes d'exposition retenus sur site**

## 6.5. Identification des enjeux à protéger

Les récepteurs retenus sont :

Sur les parcelles cadastrales 167 à 174 :

- Les futurs habitants des habitats collectifs, adultes et enfants.

Sur les parcelles anciennement AZUR CHIMIE (140, 141, 144 et 145) et l'ancienne pomperie (parcelles 34, 36) :

- Les futurs employés de la zone d'activité industrielle, adultes.

## 6.6. Modalités de gestion envisagées

Compte tenu des impacts mis en évidence, des aménagements envisagés et des voies de transfert et d'exposition retenues les actions de dépollution peuvent être menées sur les sols et la nappe souterraine. En outre, les possibilités de consolider les berges du ruisseau saint jean, à proximité desquelles des remblais pollués sont présents seront étudiées. De même, l'étanchéification d'une partie des berges qui reçoivent les eaux de nappe polluées sera étudiée.

Afin d'étudier les techniques de réhabilitations envisageables, des seuils de réhabilitation ont été définis et des volumes de sols pollués ont été calculés. Ces seuils ont été proposés au regard des impacts constatés (identification des zones source) et des valeurs de bruit de fond local et des autres valeurs de référence existantes ainsi que du retour d'expérience d'Antea Group dans ce domaine.

### 6.6.1. Seuils de réhabilitation

Les seuils de réhabilitation proposés dans le cadre du présent plan de gestion sont :

COMPOSE	FUTURE ZONE HABITEE	FUTURE ZONE D'ACTIVITE INDUSTRIELLE	COMMENTAIRE
Arsenic	25 mg/kg	25 mg/kg	Bruit de fond urbain local maximum de 9,9 mg/kg. Seuil d'anomalie naturelle modérée de 25 mg/kg.
Plomb	40 mg/kg	400 mg/kg	Bruit de fond urbain local moyen de 41,7 mg/kg. Valeur de l'agence de protection de l'environnement américaine : 400 mg/kg.
Mercuré	0,3 mg/kg	2 mg/kg	Bruit de fond urbain local moyen de 0,3 mg/kg. Seuil de 2 mg/kg élaboré sur la base d'une pré-évaluation des risques pour la zone d'étude.
Cadmium	2 mg/kg	100 mg/kg	Bruit de fond urbain local moyen de 1,8 mg/kg. Seuil de 100 mg/kg élaboré sur la base d'une pré-évaluation des risques pour la zone d'étude.

COMPOSE	FUTURE ZONE HABITEE	FUTURE ZONE D'ACTIVITE INDUSTRIELLE	COMMENTAIRE
Chrome	90 mg/kg	Pas de seuil	Seuil d'anomalie naturelle modérée de 90 mg/kg. La pré-évaluation des risques a montré l'absence de risque pour un usage industriel avec les concentrations maximum mesurées sur le site.
Cuivre	34 mg/kg	400 mg/kg	Bruit de fond urbain local moyen de 33,8 mg/kg. Valeur FNADE d'acceptation des terres en ISDI : 400 mg/kg.
Nickel	60 mg/kg	Pas de seuil	Seuil d'anomalie naturelle modérée de 60 mg/kg. La pré-évaluation des risques a montré l'absence de risque pour un usage industriel avec les concentrations maximum mesurées sur le site.
Zinc	250 mg/kg	1600 mg/kg	Bruit de fond urbain local moyen de 214 mg/kg. Valeur FNADE d'acceptation des terres en ISDD : 1600 mg/kg.
Somme des solvants halogénés	Non détectés	5 mg/kg	Ces composés n'ont pas été détectés dans les parcelles destinées aux habitations. L'objectif pour les futurs habitats n'est donc pas contraignant. Le seuil de 5 mg/kg a été fixé dans le cadre d'une pré-évaluation des risques.
Hydrocarbures totaux	500 mg/kg	1500 mg/kg	Critère d'acceptation des terres en ISDI : 500 mg/kg. Le seuil de 1500 mg/kg est un seuil souvent utilisé en milieu industriel selon le retour d'expérience d'Antea Group.
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	50 mg/kg	1000 mg/kg	Critère d'acceptation des terres en ISDI : 50 mg/kg. Seuil de 1000 mg/kg élaboré sur la base d'une pré-évaluation des risques pour la zone d'étude.
Polychlorobiphényles	Non recherchés	1 mg/kg	Critère d'acceptation des terres en ISDI : 1 mg/kg.

Tableau 8 : Objectifs de dépollution proposés

### 6.6.2. Volumes de sols impactés

Sur la base des seuils de réhabilitation proposés, les volumes de sols impactés peuvent être évalués comme suit :

Sols pollués en métaux sur Azur chimie, l'ancienne pomperie d'eau de mer et les parcelles 167 à 170 :

- Cumul des surfaces impactées : environ 75 000 m<sup>2</sup> ;
- Epaisseur moyenne des remblais impactés : hypothèse moyenne 1,5 m ;
- Estimation du volume de sols impactés : environ 112 000 m<sup>3</sup> ou 202 000 tonnes.

Sols pollués en métaux sur les parcelles 171 à 174 :

- Cumul des surfaces impactées : estimé à 40% de la surface soit 2400 m<sup>2</sup> ;
- Epaisseur moyenne des remblais impactés : estimée à 0,5 m ;
- Estimation du volume de sols impactés : environ 1 200 m<sup>3</sup> ou 2 200 tonnes.

Sols pollués en solvants sur Azur chimie :

- Cumul des surfaces impactées : environ 30 000 m<sup>2</sup> ;
- Epaisseur moyenne des sols impactés : hypothèse moyenne 3 m ;
- Estimation du volume de sols impactés : environ 90 000 m<sup>3</sup> ou 160 000 tonnes.

## 7. Techniques de réhabilitation envisageables

Les techniques de réhabilitation envisageables doivent permettre d'éliminer les sources de pollution ou de supprimer les voies de transfert des sources vers les récepteurs (cibles).

### 7.1. Solutions non retenues

Les solutions qui ont été inventoriées et qui ont été directement éliminées sont présentées dans le tableau ci-dessous avec les justifications correspondantes :

<b>POLLUANT</b>	<b>SOLUTION</b>	<b>JUSTIFICATION</b>
Métaux	Techniques biologiques (bioventing, biotertre, andains, landfarming, etc...)	Les métaux ne sont pas dégradables.
	Lavage (chimique, à l'eau)	Différents métaux sont mélangés avec des propriétés différentes, les matériaux concernés sont poreux, les quantités à traiter trop importantes.
	Amendement de surface, phytostabilisation	Ces techniques visent à rendre non biodisponibles les métaux (amendements de surface) ce qui permet de faire pousser des végétaux qui empêchent l'envol et ou l'érosion de métaux. Toutefois elles ne permettent pas d'empêcher le contact direct et sont plutôt utilisées pour des friches naturelles où la problématique d'érosion est le sujet majeur.
	Stabilisation (liant hydraulique, vitrification)	La stabilisation des métaux n'est pas l'enjeu puisque les phénomènes de lixiviations sont peu importants et que la nappe n'est pas utilisée. Cette technique est par ailleurs peu adaptée aux grandes surfaces et gros volumes mais plus aux pollutions très concentrées et peu accessibles.
Solvants halogénés et autres composés organiques	Toutes les techniques de bio-traitement	Compte tenu de la très faible perméabilité de l'aquifère, des fortes concentrations en composés organiques et de la toxicité de ces composés, toutes les techniques impliquant une activité biologique pour dégrader les polluants ont été directement écartées, in situ, sur site ou hors site.

Tableau 9 : Techniques de réhabilitation éliminées (non étudiées)

## **7.2. Excavation (sols)**

### **Description**

La manière la plus élémentaire et souvent la plus radicale pour éliminer une source de pollution consiste à l'excaver et à traiter les sols sur site ou hors site. Les techniques mises en œuvre sont empruntées au génie civil.

### **Applicabilité au site**

L'excavation des sols pollués est parfaitement applicable pour les parcelles 167 à 174 dont l'épaisseur de remblais à excaver est faible (environ 0,5 m) et au droit desquelles aucune structure de surface n'est présente.

En revanche l'excavation sur le site Azur Chimie et l'ancienne pomperie d'eau de mer pose plusieurs problèmes : le niveau de la nappe (en moyenne de 1,5 m sur le site et 0,5 m au niveau de l'ancienne pomperie) est de nature à compliquer les excavations et notamment la tenue de fouilles. Or même si les sols pollués en métaux sont relativement peu profonds (aux alentours de 1,5 de profondeur) les pollutions en solvants halogénés ont pu atteindre localement jusqu'à une dizaine de mètres d'épaisseur, ce qui rend inopérante la technique de l'excavation sauf à mettre en place de coûteux travaux de confortement et d'étanchéification des bords de fouille. En outre les produits halogénés sont très toxiques (de nombreux composés cancérigènes) et très volatils ce qui poserait des problèmes d'hygiène sécurité pour les travailleurs ou de nuisance olfactives pour les riverains. Ces problèmes pourraient être surmontés en procédant à des excavations sous tente dépressurisée dont les gaz seraient traités sur charbons actif. Tous les opérateurs devraient travailler avec masque.

Pour toutes ces raisons, la technique de l'excavation n'est donc pertinente que sur les parcelles 167 à 174 ou sur quelques éventuelles zones du site Azur chimie dont la profondeur d'excavation serait inférieure à 2 m et dont les polluants ne contiendraient pas de composés très volatils et très toxiques (ex : un curage ponctuel des impacts en hydrocarbures en partie Nord ouest).

Les volumes impactés en métaux ont été estimés à près de 1 200 m<sup>3</sup> sur les parcelles 171 à 174 représentant près de 2 200 tonnes de matériaux.

Les coûts de terrassements sont estimés à environ 9€/m<sup>3</sup>.

## **7.3. Traitement hors site (sols)**

### **7.3.1. Transport**

Seul le transport routier a été considéré dans cette étude. En raison de la localisation du site proche de la zone industrialo-portuaire, le mode de transport maritime pourrait être envisageable mais n'a pas été étudié en première approche du fait de l'absence de quai sur site.

Compte tenu du type de matériau concerné, le transport pourrait se faire en camion vrac bâché de 25 tonnes. Les coûts de transport dépendent de l'exutoire qui serait retenu mais il faut considérer un coût de l'ordre de 800 à 1000 €/jour/camion.

### 7.3.2. Traitement en centre agréé

#### 7.3.2.1. Terres impactées par des métaux

Les différentes options considérées pour les terres impactées en métaux sont résumées dans le tableau ci-dessous :

<b>TYPE D'INSTALLATION</b>	<b>INSTALLATION CONSIDEREE</b>	<b>SEUILS D'ACCEPTATION EN METAUX</b>	<b>COUT MOYEN (€/TONNE)</b>	<b>COMMENTAIRE</b>
Installation de stockage de déchet	ISIDI	< aux concentrations mesurées du site	-	Seuil arrêté 12/12/14
	ISDND	< aux concentrations mesurées du site	-	Critères FNADE sur brute non respectés
	ISDD	Compatibles	130 €/tonne	Centre SITA à Bellegarde sans stabilisation
Biocentre		< aux concentrations mesurées du site	-	Critères ISDD non respectés
Traitement thermique	Incinération	Compatibles	400€/tonne	SOLAMAT Merex
	Désorption thermique	< aux concentrations mesurées du site		Seuil cadmium St Pierre de Chandieux < 5 mg/kg
	Cimenterie	< aux concentrations mesurées du site	-	Seuil mercure SCORI <10 mg/kg

**Tableau 10 : Filières de traitement hors site pour les métaux**

La seule filière technico-économiquement envisageable pour le traitement des impacts en métaux est l'Installation de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD) de Sita Bellegarde dont le coût peut être estimé à 130€/tonne. En considérant qu'il sera possible d'effectuer 3 rotations par jour par camion, le coût de transport à la tonne serait de 16 €/tonne soit un total de 146€/tonne pour l'élimination des terres impactées par les métaux.

### 7.3.2.2. Terres impactées en composés halogénés

TYPE D'INSTALLATION	INSTALLATION CONSIDEREE	SEUILS D'ACCEPTATION EN HALOGENES	COUT MOYEN (€/TONNE)	COMMENTAIRE
Installation de stockage de déchet	ISIDI	6 mg/kg	-	Seuil arrêté 12/12/14 non compatible avec les concentrations mesurées sur le site
	ISDND	10 mg/kg (seuil FNADE)	-	Le seuil FNADE n'est pas compatible avec les concentrations mesurées sur site.
	ISDD	100 mg/kg (seuil FNADE)	110 €/tonne	Centre SITA à Bellegarde serait susceptible de recevoir les sols les moins pollués
Biocentre		50 mg/kg	-	Le seuil n'est pas compatible avec les concentrations mesurées sur site.
Traitement thermique	Incinération	100 000 mg/kg	400 €/tonne	SOLAMAT Merex
	Désorption thermique	2 000 mg/kg	90€/tonne	St Pierre de Chandieu
	Cimenterie	500 mg/kg	50 €/tonne	Seuil SCORI

**Tableau 11 : Filières de traitement hors site pour les composés halogénés**

La filière qui offre toutes les garanties par rapport aux concentrations importantes en solvant est l'incinération. En considérant qu'il sera possible d'effectuer 4 rotations par jours par camion le coût de transport à la tonne serait de 10 €/tonne soit un total de 410 €/tonne pour l'élimination terres impactées par les composés halogénés.

## 7.4. Confinement par recouvrement (sols)

### Description

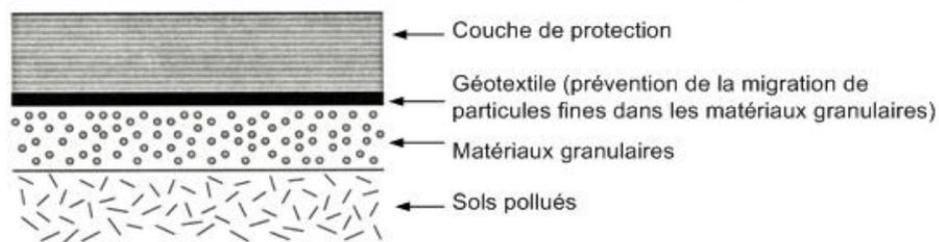
Le but du confinement par couverture et étanchéification est :

- la mise en place d'une barrière entre la source de pollution et les humains (ingestion de sol, contact cutané), la faune (rongeurs, terriers) ou la flore (racine) ;
- la mise en place d'une barrière au-dessus de la source de pollution pour prévenir le ré-envol de poussières ou le relargage par érosion/ruissellement ou en cas d'étanchéification pour prévenir la remontée de gaz.

### Applicabilité au site

La mise en place d'un confinement est applicable sur l'ensemble des parcelles concernées par l'étude dans le but de supprimer les voies d'exposition par contact cutané, ingestion et inhalation de poussières. La mise en place d'une couverture étanche peut permettre en plus de supprimer la voie d'exposition par remontée de gaz des sols (composés organiques halogénés) mais cette contrainte pourra aussi être supprimée par des mesures constructives limitées à l'aplomb des futurs bâtiments et donc moins coûteuses.

La couverture pourra être constituée des dalles et voiries existantes, des futures voiries (constituées d'un complexe de grave traité recouvert d'un enrobé) et des futurs bâtiments (voir mesures constructives envisageables au chapitre 8). Pour les parties non recouvertes par les aménagements futurs, une couverture d'une épaisseur minimale de 30 cm pourrait être mise en place pour faire office de couverture. Un grillage avertisseur devra être disposé sur les sols pollués afin de marquer la limite physique entre les sols sains et les sols pollués. Ensuite, la couverture pourra être constituée de matériaux locaux (sols, remblais et déblais sains) ou de matériaux rapportés sains. Pour empêcher l'éventuelle dégradation de la couverture par des animaux fouisseurs, il pourra être envisagé de réaliser une partie de la couverture avec des matériaux granulaires compactés (grave calcaire 0/20). Dans ce cas un géotextile sera installé au sommet des matériaux granulaires avant la pose des matériaux terreux.



**Schéma 2 : Exemple de couverture non étanche**

Compte tenu des usages futurs de sensibilité différente prévus sur le site et donc des objectifs de dépollution différents qui en résultent, il pourrait être envisagé d'utiliser une partie des matériaux moyennement impactés qui seraient décapés au droit des parcelles 171 à 174 pour le recouvrement des matériaux très impactés de la partie basse.

Le prix d'une couverture non étanche est estimé autour de 30 €/m<sup>2</sup>.

Une variante pourrait consister, si nécessaire pour les besoins de l'aménagement (merlon d'isolation phonique, création d'une butte paysagère), à confiner les matériaux impactés en butte à faible tenue géotechnique. Ce merlon devra alors être conçu pour résister à l'érosion afin de garantir toute mise à nu des sols impactés avec le temps.

## 7.5. Confinement par encapsulation (sols)

### Description

A l'inverse du recouvrement, cette technique nécessite d'excaver l'intégralité des sols pollués. Le procédé d'encapsulation consiste à enfermer physiquement sur site les sols par un dispositif de parois, couverture et fonds très peu perméables. L'intérêt de cette technique consiste essentiellement à limiter les infiltrations des eaux de pluie et la migration latérale et en profondeur des polluants dans les eaux souterraines. Les parois et le fond des alvéoles doivent avoir un dispositif spécifique présentant une étanchéité maximale et permettant une récupération des eaux.

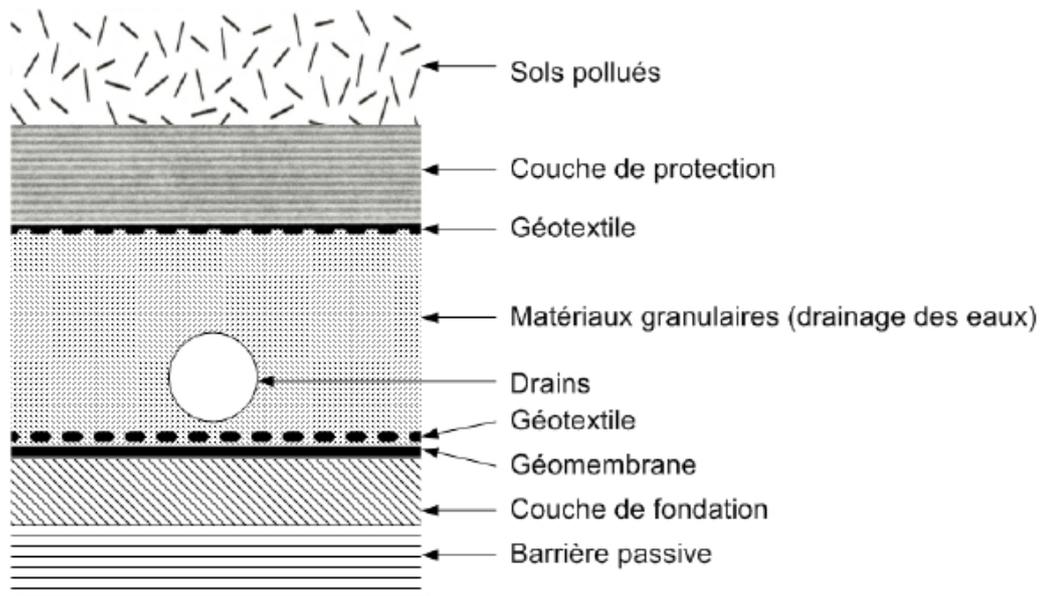


Schéma 3 : Exemple de couche de fond d'encapsulation

### Applicabilité au site

Cette technique nécessite d'excaver la totalité des sols. Elle présente donc les contraintes déjà explicités au chapitre 7.2 et n'est donc pas applicable aux pollutions organiques ou métalliques du site Azur Chimie. Elle pourrait néanmoins être appliquée pour les déblais des parcelles 171 à 174 mais l'encapsulation ne présente pas d'intérêt particulier au droit du site au regard des enjeux à protéger et des coûts de sa mise en œuvre (jusqu'à 130 €/tonne).

## 7.6. Désorption thermique in-situ (sols)

### Description

Dans ce type de traitement, les terres contaminées sont chauffées aux conditions physiques (température, pression, temps de séjour) suffisantes pour que les polluants s'évaporent (phase de désorption). Ces polluants, une fois en phase gazeuse, sont extraits et traités, soit par combustion, soit de toute autre manière (oxydation catalytique, filtration sur charbons actifs,...). Le chauffage du sol s'effectue par le biais d'un réseau d'éléments chauffants. Le chauffage des terres n'est donc aucunement dépendant des chemins préférentiels ni de l'hétérogénéité du sol en place. L'élévation rapide de la température de ces sols, qui induit une dessiccation rapide, crée des fentes de retrait qui améliorent fortement la perméabilité des sols fins. La source d'énergie est du gaz qui alimente un brûleur par puits. Il existe également des techniques similaires fonctionnant à l'électricité.

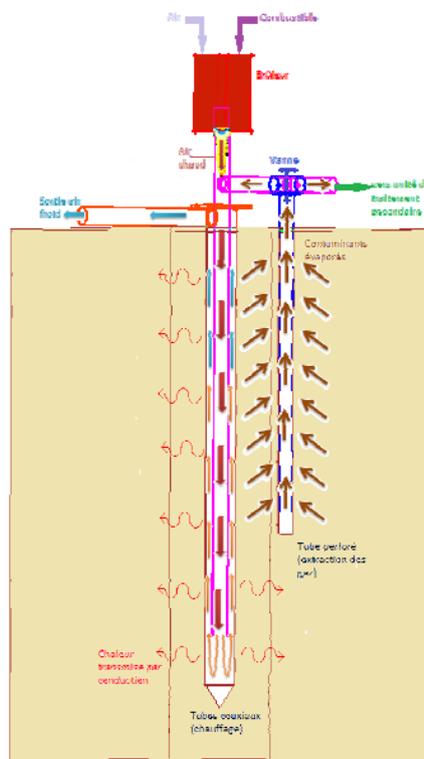


Schéma 4 : Schéma de principe de la désorption thermique in-situ

### Applicabilité au site

Cette méthode est applicable pour le traitement des pollutions en composés halogénés dans la zone non saturée. Ceci limite fortement le champ d'action de cette technique, qui ne peut donc pas traiter l'essentiel de la pollution adsorbée aux sols de la zone saturée. En outre cette technique ne s'adresse pas à la pollution métallique. Elle est donc applicable en théorie mais ne présente pas grand intérêt pour le site Azur chimie. Son coût est évalué jusqu'à 155 €/tonne.

## 7.7. Extraction double phase (sols et nappe)

### Description

Cette technique est une variante du venting. Le venting consiste à extraire des polluants volatils par mise en dépression de la zone non saturée. Dans le cadre d'une extraction double phase une dépression importante est appliquée dans la zone non saturée juste au dessus du toit de la nappe, ce qui a pour but d'extraire les gaz des sols, le surnageant (cas des produits flottants) et la phase dissoute. Dans ce cas, le système de traitement en aval des puits d'extraction doit tenir compte de la séparation et du traitement des liquides (phase dissoute et surnageant) et des gaz. Cette technique ne peut être employée que dans le cas d'une nappe peu profonde.

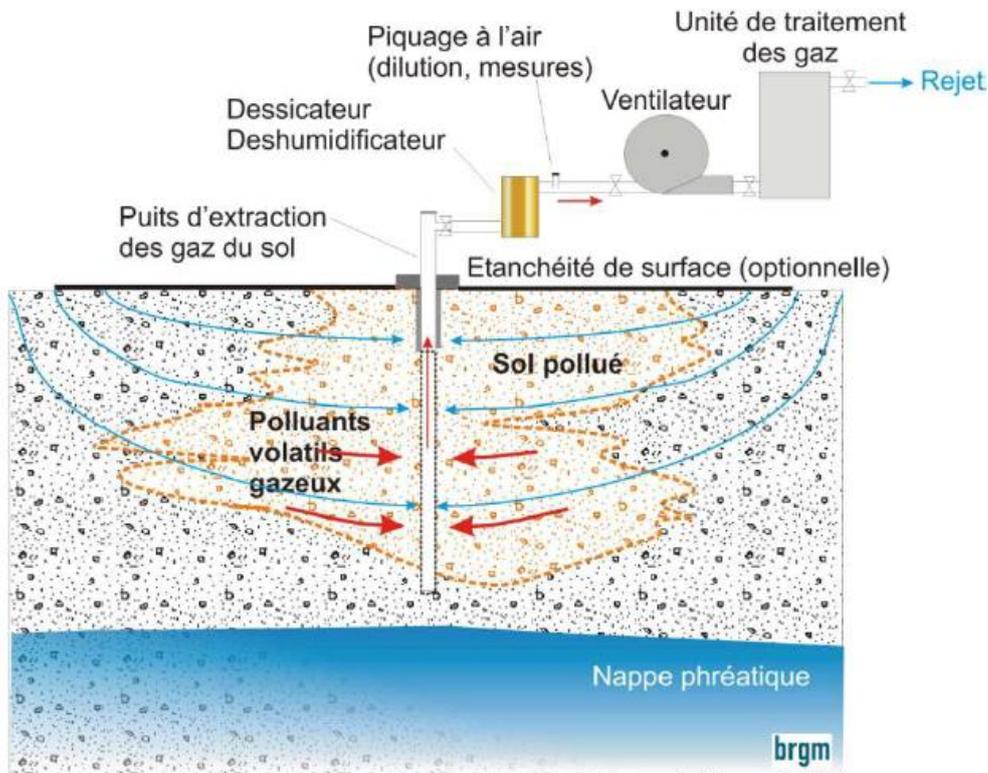


Schéma 5 : Schéma de principe du venting

### Applicabilité au site

Le caractère volatil des composés halogénés présents sur le site Azur Chimie et la faible profondeur de la nappe militent en faveur d'une extraction double phase. Toutefois la faible perméabilité du milieu constitue un facteur limitant à la mise en place de cette technique. Le faible rayon d'action des puits imposerait la mise en place de très nombreuses aiguilles d'aspiration. En outre, seule la partie superficielle de la nappe peut être traitée par cette technique. Enfin cette technique n'a pas d'effet sur les pollutions en métaux. Ainsi cette technique peut être applicable mais ne semble pas pertinente pour le site. Les coûts du venting sont estimés à 50 €/tonne de sol traité.

## 7.8. Soil mixing (sols et nappe)

### Description

L'oxydation chimique in situ consiste à injecter un oxydant dans les sols (zones saturée et non saturée) sans excavation. Cet oxydant va détruire totalement ou partiellement les polluants. Ce procédé permet donc d'aboutir à la destruction des polluants (aboutissant à la transformation en eau, gaz carbonique et sels) ou à la formation de sous-produits de dégradation généralement plus biodégradables. Dans les milieux peu perméables l'oxydant est mélangé par malaxage in situ : procédé proche de la solidification/stabilisation in situ par malaxage. Ce procédé ne détruit pas les métaux mais peut les stabiliser sous une forme peu soluble.

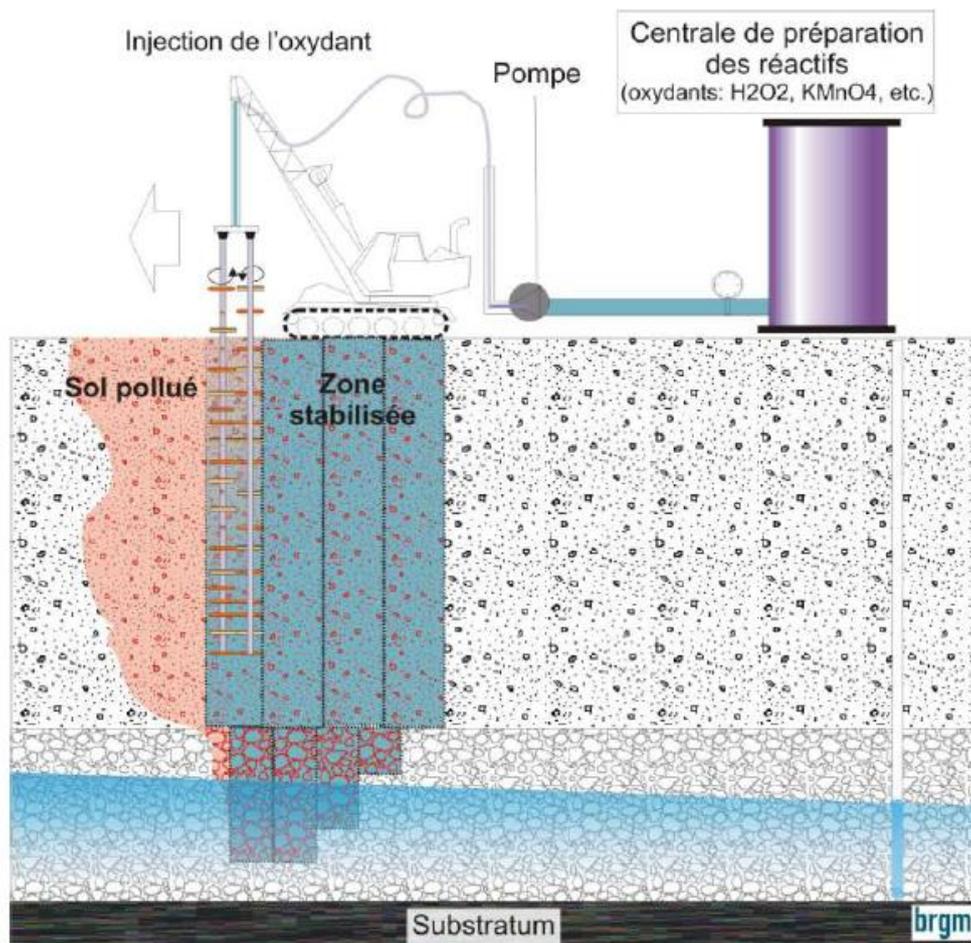


Schéma 6 : Schéma de principe du venting

### Applicabilité au site

La nature des sols est compatible avec ce procédé qui présente l'avantage important de fonctionner en zone non saturée ainsi que sous la nappe. C'est une des seules techniques qui pourrait permettre de détruire la totalité de la pollution par les composés halogénés volatils. Sa mise en œuvre doit être précédée de tests pilotes et de tests en laboratoire. Elle présente toutefois un désavantage ou une incertitude importante : elle ne détruit pas les métaux en place et pourrait même être à l'origine de leur solubilisation. Ce point serait donc à surveiller avec attention lors de la phase pilote.

A fortiori, la mise au point d'un traitement détruisant les solvants halogénés et stabilisant les métaux n'est pas garantie. Les sols sont également déstructurés par le procédé et pourraient nécessiter des travaux de confortement en cas de construction d'un bâtiment au droit d'une zone traitée. Les coûts de cette technique sont estimés jusqu'à 95€/tonne.

## 7.9. Pompage traitement (nappe)

### Description

Le pompage et traitement consiste à extraire les eaux souterraines polluées et à les traiter sur site avant rejet (ou à les éliminer en centres agréés). Le type de traitement varie en fonction des polluants, des débits et des pourcentages épuratoires à atteindre.

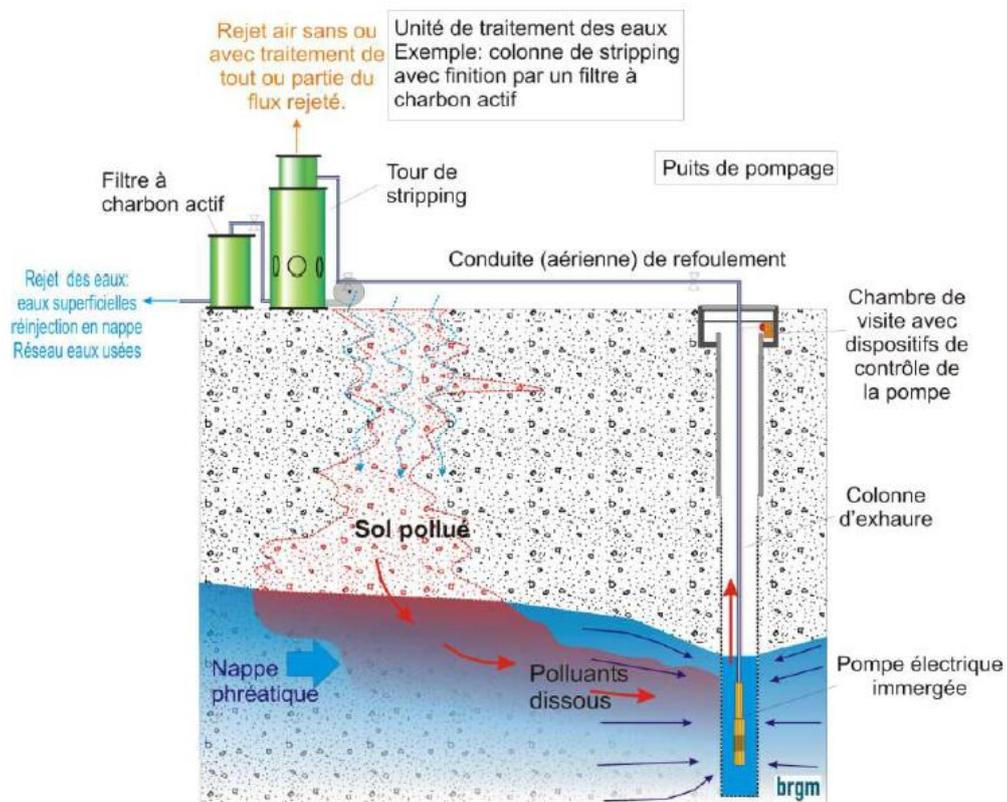


Schéma 7 : Schéma de principe du pompage traitement

### Applicabilité au site

Au niveau du site, le traitement des pollutions en composés organiques halogénés pourrait être réalisé par stripping et traitement des gaz sur charbon actif (si les concentrations ne sont pas trop importantes. Sinon une oxydation catalytique pourrait être nécessaire, toutefois la présence de chlorés imposera une prise en compte de la possibilité de formation de dioxine dans les gaz brûlés). Toutefois cette option n'a pas été retenue lors du premier pompage traitement et les effluents étaient traités hors site. Le retour d'expérience de la première tentative de dépollution par pompage traitement dans les années 2000-2009 n'a pas permis de démontrer l'efficacité de cette technique, principalement en raison de la faible perméabilité de la nappe.

Le coût de sa mise en œuvre pouvant aller jusqu'à 60 €/m<sup>3</sup> elle n'est aujourd'hui pas jugée pertinente pour la dépollution de la nappe. En outre elle n'a pas d'influence sur la qualité de la zone non saturée.

### 7.10. Confinement vertical (nappe)

#### Description

Le confinement consiste à isoler les contaminants de façon à prévenir d'une manière pérenne leur propagation, il permet la mise en place d'une barrière entre la source de pollution et les eaux souterraines et/ou les eaux superficielles. Dépendamment des conditions environnementales et des enjeux à protéger, les confinements verticaux peuvent être implantés au pourtour, en aval ou en amont de la source de pollution. Ces confinements verticaux peuvent être constitués de murs de boues, de rideaux de coulis ou de rideaux de palplanches.

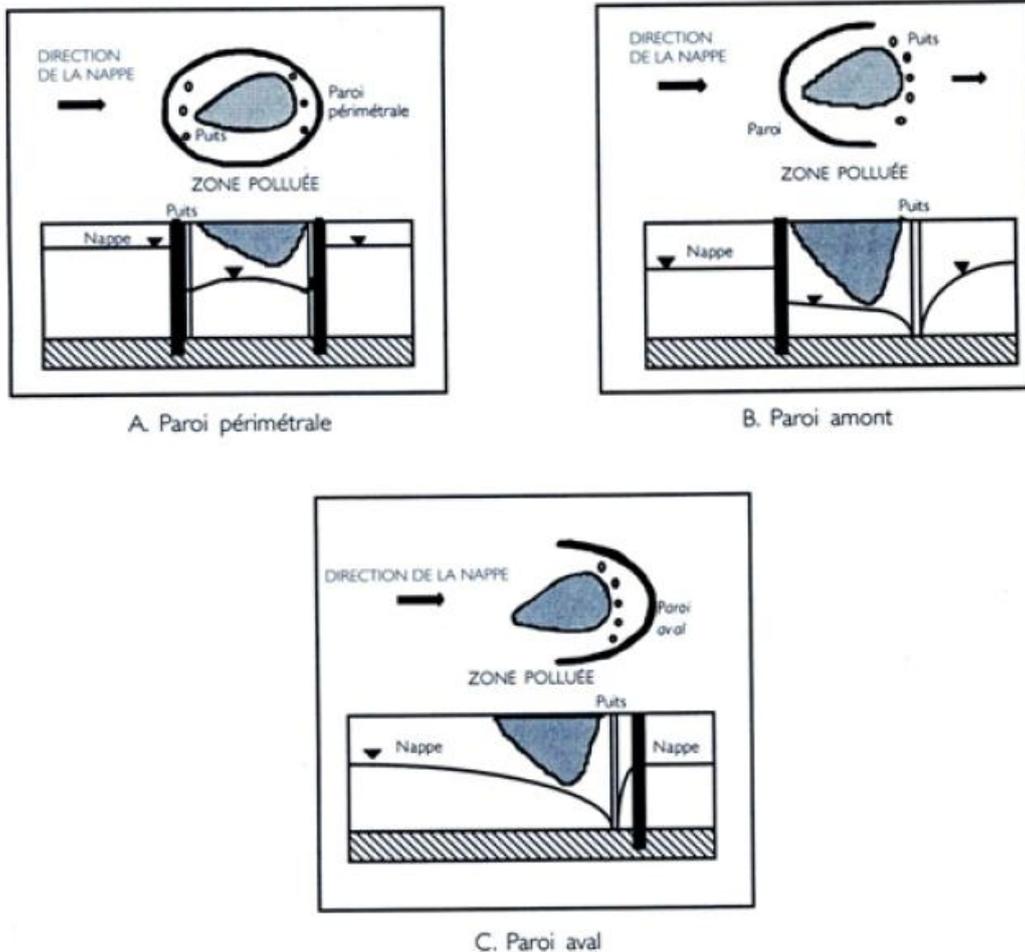
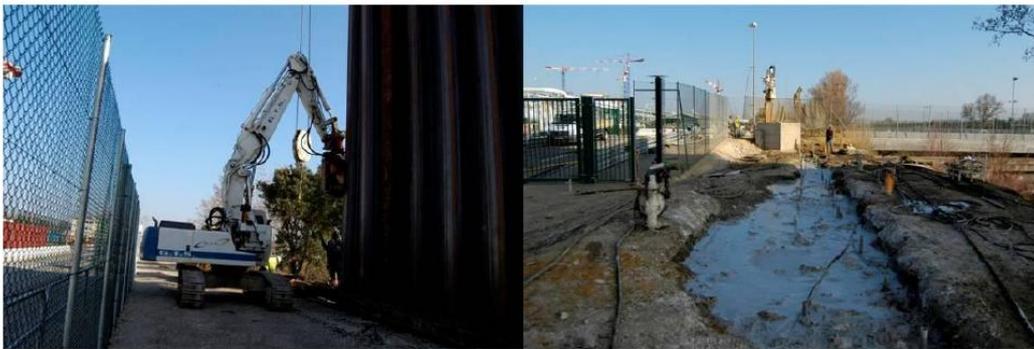


Schéma 8 : Schéma de principe du confinement vertical

### **Applicabilité au site**

La pollution de la nappe est peu mobile au droit du site. Toutefois une partie de la pollution semble rejoindre le ruisseau saint jean en partie Nord-Est de l'atelier Pyrocheck. Un confinement vertical de la pollution en composés organique halogéné permettrait d'arrêter sa migration vers les eaux superficielles. En outre la mise en place d'une barrière physique permettra de conforter la berge et de prévenir un éventuel arrachement des déchets et sols pollués en cas d'érosion de la berge lors d'une crue exceptionnelle. L'ancrage du confinement devra se faire dans le substratum argileux potentiellement jusqu'à 13 m. Ainsi, seules les techniques de rideaux par injection de coulis (paroi moulée) et de palplanche sont envisageables. Le rideaux de palplanche est la technique la plus fiable mais est également la plus coûteuse. En effet certains coulis peuvent se dissoudre après 30 ou 50 ans.



**Schéma 9 : Installation d'un mur de palplanche (gauche) et d'une paroi moulée (droite)**

Le dimensionnement précis doit être réalisé dans le cadre d'une étude de conception incluant une modélisation des écoulements souterrains et différents essais géotechniques. Toutefois en première approche, il peut être envisagé un confinement périmétrale incluant la principale zone de pollution en solvant halogénés. Le périmètre envisagé serait d'environ 600 m et la profondeur moyenne d'environ 8 mètres soit 4800 m<sup>2</sup>. Les coûts moyens sont de 100-200 €/m<sup>2</sup> pour une paroi excavée à la benne réalisée en coulis bentonite-ciment et de 150-250 €/m<sup>2</sup> pour un rideau de palplanche.

La pollution en 1,2-dibromoéthane au niveau de l'ancienne pomperie étant un point singulier dont l'extension n'est pas connue, le traitement de ce point par confinement n'est pas envisagé à ce jour.

## **7.11.Confortement de berge**

### **Description**

Le principe est d'augmenter la résistance mécanique de la berge afin d'éviter sa dégradation en cas de crue importante. Plusieurs techniques sont envisageables. La technique présentée ci-après permet de conserver aux berges leur rôle de drainage des eaux souterraines. Elle comprend un géotextile, un lit de graviers et un enrochement par pierre choisies. Une bêche d'ancrage de 50 cm en pied de talus assure l'ancrage du dispositif.



**Schéma 10 : Exemple de mise en œuvre d'un enrochement drainant.**

#### **Applicabilité au site**

Au niveau du site cette technique aurait pour intérêt de prévenir une dégradation des berges du ruisseau Saint Jean à hauteur de l'atelier PYROCHECK au niveau duquel des remblais fortement pollués ont été identifiés. La conception précise de l'enrochement devra être réalisée sur la base d'une étude spécifique prenant en compte la configuration du terrain et le type de crue envisageable. Toutefois en première approche la longueur de la berge à renforcer peut être estimée à 150 m linéaires. La hauteur de berge peut être estimée à 5 mètres représentant environ 750 m<sup>2</sup>. Le coût est estimé à 150 €/m<sup>2</sup>.

### **7.12. Bilan coûts - avantages**

L'objectif du bilan coût avantage n'est pas de chiffrer les travaux de dépollution mais de pouvoir hiérarchiser économiquement les techniques envisagées sur la base des quantités réelles à traiter. En effet certains coût unitaires sont donnés en tonnes (encapsulation, traitement hors sites,...) tandis que d'autres sont donnés en m<sup>2</sup> (recouvrement, parois étanches) si bien que la comparaison des coûts unitaires n'est pas suffisante. Le tableau ci-dessous présente donc le chiffrage des techniques discutées précédemment sur la base des quantités estimées de terres impactées et des coûts unitaires moyens. Les coûts totaux doivent être considérés comme des ordres de grandeurs des budgets de travaux. Ils ne sauraient engager la responsabilité d'Antea Group, car ils ne sont pas établis sur le chiffrage précis d'un projet.

N°	Technique de réhabilitation	Unité	Quantité	Coût unitaire	TOTAL
<b>1</b>	<b>Terrassement - élimination hors site</b>			<b>Sous-total</b>	<b>84 880 000 €</b>
1.1	Installation chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000 €
1.2	Terrassement parcelles 170-174 : pollution métaux	m3	1 200	9,00 €	10 800 €
1.3	Terrassement Azur chimie, pomperie eau de mer et parcelles 167-169 : pollution métaux	m3	112 000	9,00 €	1 008 000 €
1.4	Terrassement Azur chimie et parcelles 167-169 : pollution solvants (pollution commune métaux déduite)	m3	45 000	9,00 €	405 000 €
1.5	Elimination hors site pollution métaux parcelles 170 à 174	tonne	2 200	146,00 €	321 200 €
1.6	Elimination hors site pollution métaux (pollution solvants déduite) Azur Chimie et parcelles 167 à 169	tonne	120 000	146,00 €	17 520 000 €
1.7	Elimination hors site solvants halogénés	tonne	160 000	410,00 €	65 600 000 €

N°	Technique de réhabilitation	Unité	Quantité	Coût unitaire	TOTAL
<b>2</b>	<b>Confinement par recouvrement non étanche</b>			<b>Sous-total</b>	<b>2 337 000 €</b>
2.1	Installation chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000 €
2.2	Mise en place couverture non étanche site Azur chimie et parcelles 167 à 169	m²	75 000	30,00 €	2 250 000 €
2.3	Mise en place couverture non étanche parcelles 170 à 174	m²	2 400	30,00 €	72 000 €
<b>3</b>	<b>Confinement par encapsulation</b>			<b>Sous-total</b>	<b>38 488 800 €</b>
3.1	Installation chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000 €
3.2	Terrassement parcelles 170-174 : pollution métaux	m3	1 200	9,00 €	10 800 €
3.3	Terrassement Azur chimie, pomperie eau de mer et parcelles 167-169 : pollution métaux	m3	112 000	9,00 €	1 008 000 €
3.4	Terrassement Azur chimie et parcelles 167-169 : pollution solvants (pollution commune métaux déduite)	m3	45 000	9,00 €	405 000 €
3.4	Encapsulation	tonne	285 000	130,00 €	37 050 000 €

N°	Technique de réhabilitation	Unité	Quantité	Coût unitaire	TOTAL
<b>4</b>	<b>Désorption thermique in-situ (pas de traitement sous nappe)</b>			<b>Sous-total</b>	<b>10 695 000 €</b>
4.1	Installation chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000 €
4.2	Pilote de traitement	Ft	1	150 000,00 €	150 000 €
4.3	Désorption thermique (30 000 m <sup>2</sup> sur 1,5 m de profondeur)	tonne	81 000	130,00 €	10 530 000 €
<b>5</b>	<b>Extraction double phase (pas de traitement de la nappe en profondeur)</b>			<b>Sous-total</b>	<b>8 165 000 €</b>
5.1	Installation chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000 €
5.2	Pilote de traitement	Ft	1	150 000,00 €	150 000 €
5.3	Extraction double phase (30 000 m <sup>2</sup> sur 3 m de profondeur)	tonne	160 000	50,00 €	8 000 000 €
<b>6</b>	<b>Soil mixing</b>			<b>Sous-total</b>	<b>20 685 000 €</b>
6.1	Installation chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000 €
6.2	Pilote de traitement	Ft	1	150 000,00 €	150 000 €
6.3	Traitement par oxydation chimique (30 000 m <sup>2</sup> sur 4 m de profondeur en moyenne)	tonne	216 000	95,00 €	20 520 000 €

N°	Technique de réhabilitation	Unité	Quantité	Coût unitaire	TOTAL
<b>7</b>	<b>Pompage traitement (sols non traités)</b>			<b>Sous-total</b>	
Non pertinente: non chiffrée					
<b>8</b>	<b>Confinement vertical</b>			<b>Sous-total</b>	<b>1 235 000 €</b>
8.1	Installation chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000 €
8.2	Etude de conception	Ft	1	20 000,00 €	20 000 €
8.3	Pose rideau de palplanche	m <sup>2</sup>	4 800	250,00 €	1 200 000 €
8.4	Pose coulis bentonitique	m <sup>2</sup>	pm	200,00 €	
<b>9</b>	<b>Confortement de berges</b>			<b>Sous-total</b>	<b>147 500 €</b>
9.1	Installation chantier	Ft	1	15 000,00 €	15 000 €
9.2	Etude de conception	Ft	1	20 000,00 €	20 000 €
9.3	Pose confortement	m <sup>2</sup>	750	150,00 €	112 500 €

**Tableau 12 : coûts des techniques envisagées**

Ce tableau montre que les techniques d'excavation avec élimination hors site, d'excavation avec encapsulation, de soil mixing, de désorption thermique et d'extraction double phase présentent des coûts rédhibitoires en plus de ne traiter que partiellement le problème pour les deux dernières : la désorption thermique ne traite que la Zone Non Saturée (ZNS) et l'extraction double phase ne traite que la ZNS et une petite frange de la nappe. A noter simplement que la technique de soil mixing, malgré son coût élevé pourrait être envisageable pour des petites surfaces, comme par exemple au droit de l'ancienne pomperie d'eau de mer.

Le plan de gestion proposé s'appuie principalement et dans la mesure du possible, sur des techniques économiquement acceptables c'est-à-dire des techniques qui consistent en du confinement in-situ (par recouvrement ou par confinement vertical). Les autres techniques comme l'élimination hors site ou le soil mixing pourront s'appliquer sur des zones très réduites pour en limiter les coûts.

## **8. Mesures constructives envisageables**

### **8.1. Objectifs**

Les principaux objectifs des mesures constructives sont, d'une part, d'assurer durablement l'adéquation d'un usage (existant ou envisagé) avec une pollution résiduelle au droit d'un site, et, d'autre part, de s'affranchir, autant que possible, de l'évolution réglementaire des référentiels (évolution en général vers un abaissement des seuils), qui pourrait remettre en cause, à plus ou moins long terme, le niveau d'exposition admis pour les usagers. Ces mesures viennent ainsi compléter des travaux plus conventionnels de dépollution des sols.

### **8.2. Enjeux des mesures constructives**

Les techniques de réhabilitation envisagées au chapitre précédent permettent de supprimer les voies d'exposition par contact cutané, ingestion, inhalation de poussière sur l'ensemble du site. Néanmoins, les voies d'exposition par inhalation de vapeurs depuis les sols ou la nappe dans les bâtiments restent possibles en raison de la présence de solvants chlorés. De même, les voies d'exposition liées à la perméation des substances dans les canalisations restent possibles. Les enjeux des mesures constructives sont de supprimer ces voies d'exposition.

### **8.3. Mesures pour prévenir l'intrusion des substances volatiles dans le bâti**

L'intérieur d'un bâtiment peut être, naturellement, un espace de convergence et d'accumulation des polluants volatils. C'est pourquoi il est proposé de mettre en œuvre des mesures constructives permettant de limiter l'intrusion des substances volatiles dans le bâti. Compte tenu des concentrations importantes en composés organiques des mesures passives et actives sont envisagées ci-après.

#### **8.3.1. Mise en place d'un vide sanitaire**

La présence d'un vide sanitaire permet de diluer les remontés de vapeur en provenance du sol, voire de les court-circuiter en cas de ventilation active. De nombreuses configurations de vide sanitaire existent. Ils peuvent être enterrés/semi-enterrés, aérien (hors sol). Dans le cas présent, le vide sanitaire hors sol sera privilégié pour limiter les excavations de remblais impactés. Un vide sanitaire est réputé accessible, s'il présente l'ensemble des caractéristiques suivantes (voir DTU 65.10) :

- accès de surface minimale de 0,60 m<sup>2</sup>, la plus petite dimension étant au moins égale à 0,6 m ;
- hauteur libre générale de 0,60 m minimum. Elle est de 1,30 m au droit des canalisations. Cette hauteur libre peut être ramenée à 1,0 m sous des saillies linéaires du gros œuvre ne supportant pas, par en-dessous, des canalisations ;
- hauteur libre maximale : 1,80 m (sinon cela devient une pièce habitable).

Dans le cas d'une mesure constructive, la trappe d'accès sera dans la mesure du possible installée en extérieur, afin de limiter les voies préférentielles.

Une ventilation, a minima naturelle, du volume du vide-sanitaire est nécessaire, y compris en dehors de toute problématique de sites et sols pollués. Un vide sanitaire sera considéré comme ventilé si la surface totale des bouches de ventilation est au moins égale à 0,05% de la surface du vide sanitaire (soit  $5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ ) (exemple : pour  $100 \text{ m}^2$ , la surface de ventilation sera de  $500 \text{ cm}^2$ ). Un vide sanitaire sera considéré comme fortement ventilé si la surface de ventilation est supérieure à  $15 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ . Il sera faiblement ventilé si la surface de ventilation est comprise entre 5 et  $15 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ .

Il convient de noter que certains conduits verticaux existent et peuvent assurer un renouvellement d'air de 1 à 1,5 volumes par heure (principe comparable au tirage naturel d'une cheminée). Leur efficacité augmente avec la hauteur de la ventilation haute. Dans tous les cas, lors de la mise en place d'un vide sanitaire, il faut prendre garde à ne pas laisser de zone morte, non ventilée.

### 8.3.2. Etanchéification des dalles du rez de chaussée

#### Mise en place de barrière étanche

**Les feuilles synthétiques préfabriquées** (PolyEthylène Haute Densité : PEHD) sont relativement peu onéreuses et faciles à mettre en place. Elles peuvent être mise en place avant le coulage de la dalle. Ces produits existent sous forme « souple » en rouleaux (ils sont utilisés pour étancher la partie inférieure des stockages de déchets, ou de retenues d'eaux). Les feuilles doivent être raccordées par thermosoudure, tâche assurée par des poseurs habilités à cette opération. Un contrôle qualité lors de l'installation est essentiel pour assurer une bonne étanchéité de l'installation. L'étanchéité des soudures peut être vérifiée par mise en pression du canal qui sépare les deux cordons de soudure (doubles soudures).



**Les revêtements à base de polymère.** Ils se distinguent par leur très bonne adhérence avec le béton et l'acier et leur bonne résistance aux contraintes mécaniques. Deux classes de résines sont principalement reconnues : les résines époxy et les résines polyuréthanes. La deuxième catégorie résiste mieux aux microfissures



Il existe enfin des **membranes appliquées en spray** (exemple : procédé Liquid Boot®, développé par la société CETCO).

Les étanchéifications extérieures peuvent être envisagées pour étanchéfier des bâtiments existants. Compte tenu de la nécessité d'excaver les sols pour accéder aux fondations, cette technique n'est pas pertinente pour la construction de nouveaux bâtiments.



### Amélioration de la qualité du béton

Lors de la conception d'un bâtiment, il est possible d'améliorer les performances du béton afin de réduire le risque de fissuration. Plusieurs solutions sont ainsi envisageables :

- renforcer le béton avec des métaux ferreux ou des fibres ;
- favoriser un béton de haute qualité (peu poreux) en augmentant la teneur en ciment ou en diminuant la teneur en eau par ajout d'adjuvants spécifiques tels que les super-plastifiants et les adjuvants minéraux.
  - les super-plastifiants sont des polymères utilisés dans l'industrie du béton. L'addition d'adjuvants dans la composition du béton permet notamment de jouer sur la teneur en eau du béton et donc de le rendre moins perméable à l'air et aux polluants volatils,
  - Les adjuvants minéraux en poudre, à l'instar des cendres volantes, peuvent améliorer encore davantage la perméabilité des bétons. Les cendres volantes et les matériaux pouzzolaniques, comme les cendres volcaniques, l'argile et les schistes calcinés, peuvent remplacer une partie du ciment. Ils peuvent ainsi contribuer à augmenter la résistance finale et l'imperméabilité du béton.

#### **8.3.3. Mise en surpression d'un bâtiment**

La mise en surpression d'un bâtiment consiste à insuffler mécaniquement de l'air frais dans les locaux de manière à créer une légère surpression (généralement de l'ordre de 2 à 15 Pa, à adapter au bâtiment et à la problématique rencontrée) limitant l'entrée du polluant dans les pièces utilisées. Cette méthode requiert la mise en application d'un système de ventilation spécifique : une ventilation simple flux par insufflation ou une ventilation double flux déséquilibrée. Cette mesure est applicable sur les bâtiments bien étanches, ce qui est généralement difficile à obtenir, et n'est valable que si aucune dépression ne vient perturber son fonctionnement, comme l'ouverture des fenêtres par exemple. Le principal inconvénient lié à cette mesure réside dans les pertes énergétiques engendrées en hiver, soit en injectant de l'air froid extérieur dans les pièces à vivre, soit en préchauffant l'air froid extérieur avant son insufflation dans le bâtiment. En l'absence d'étude spécifique, cette méthode est plus difficile à mettre en place dans des bâtiments résidentiels que dans des bâtiments non résidentiels.

#### **8.3.4. Mise en dépression ou en surpression d'un vide sanitaire**

Les bâtiments sans cave sont souvent construits sur des vides sanitaires de plus ou moins grandes dimensions, normalement munis d'ouvertures d'aération. Une disposition optimale de ces ouvertures, si elles sont en nombre suffisant, peut suffire à assurer un renouvellement satisfaisant de l'air pollué et ainsi protéger efficacement les occupants du bâtiment (Cf chapitre 8.3.1). En cas de besoin, un extracteur peut être installé pour favoriser davantage le renouvellement de l'air du vide sanitaire. Cet extracteur pourra être utilisé pour mettre le vide sanitaire en dépression ou en surpression.

- L'extracteur va créer une dépression dans le vide sanitaire (généralement de l'ordre de 2 à 15 Pa, valeur à adapter au bâtiment et à la problématique rencontrée), afin que les pièces utilisées soient en surpression par rapport au sous-bassement.

La remontée des vapeurs du vide sanitaire vers les pièces à protéger sera ainsi empêchée. La mise en dépression du vide sanitaire nécessite une bonne étanchéité, que ce soient des murs latéraux ou du plancher du bâtiment, ce qui est généralement difficile à obtenir. L'association d'une étanchéité du vide sanitaire avec une distribution optimale et un nombre adéquat d'ouvertures permettra de générer et de contrôler un flux d'air suffisant. Le vide sanitaire doit également comporter le moins d'obstacles possibles, afin d'éviter l'existence de zones « mortes », peu ou pas ventilées. La création d'ouvertures dans les parois compartimentant par exemple un vide sanitaire peut être nécessaire. En revanche, une mise en dépression trop importante peut contribuer à attirer et à concentrer les gaz pollués sous le bâtiment et engendrer ainsi d'autres difficultés (respect des valeurs de référence dans les pièces utilisées, concentration dans les gaz rejetés...).

- Le dispositif nécessaire à la mise en surpression d'un vide sanitaire est comparable à celui utilisé pour le mettre en dépression. L'extracteur sera généralement « retourné » afin de souffler dans le vide sanitaire et les grilles de prise d'air remplacées par des grilles de surpression, dont l'ouverture est conditionnée à l'atteinte d'une valeur donnée de surpression. Cette méthode a pour intérêt principal d'éviter que le panache gazeux soit attiré et se concentre sous la maison. La problématique liée à l'étanchéité du vide sanitaire reste néanmoins identique à celle présentée dans les paragraphes précédents.

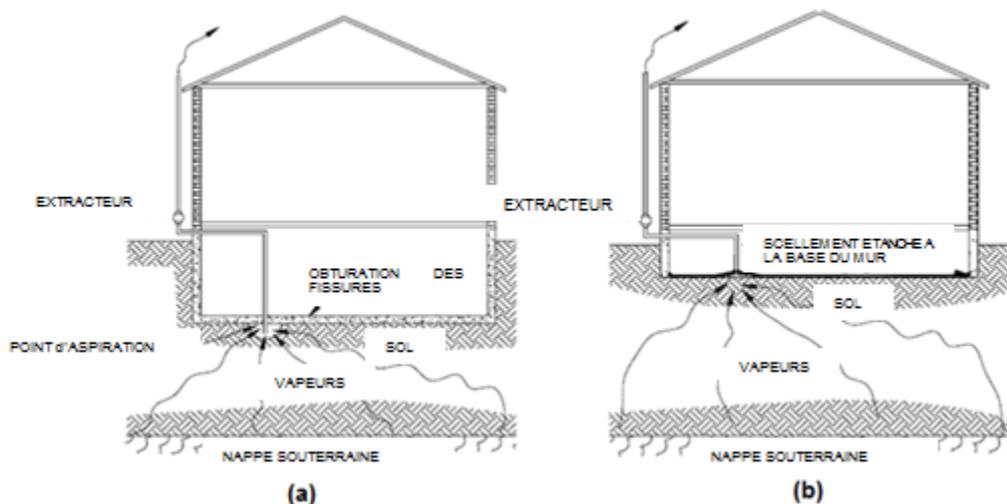
### **8.3.5. Mise en place d'un drainage des gaz du sol**

Cette technique est la plus couramment utilisée et la plus décrite dans la littérature. Elle consiste à créer une dépression dans le sol, sous ou à proximité d'un bâtiment, afin d'empêcher la pénétration de l'air du sol. On parle alors de Système de Dépressurisation du Sol (SDS). Dans ce cas, une interface physique doit être présente (existante ou à créer) entre le bâtiment et le sol ; généralement constituée d'une dalle en béton, elle va limiter les apports d'air parasites (provenant du bâtiment ou de l'air ambiant). Cette interface doit être rendue la moins perméable possible (a minima obturation préalable des joints de dilatation et des fissures).

Deux techniques principales existent (leurs principes respectifs sont illustrés ci-dessous):

- le Système de Dépressurisation Sous Dalle (SDSD) est une méthode efficace pour empêcher la pénétration dans le bâtiment des polluants volatils. Généralement, un orifice est creusé dans le sol au travers de la dalle à l'intérieur du bâtiment, afin de réduire la pression de l'air sous la dalle par aspiration verticale. Lorsque que cette technique est correctement dimensionnée et installée, le SDSD est la technique la plus efficace pour diminuer la concentration de polluants dans les bâtiments, et c'est cette méthode qui est la plus utilisée dans le domaine lorsqu'une diminution de 50 % de la quantité de polluants est requise. Des diminutions de concentrations jusqu'à 99,5 % ont même été constatées dans certains contextes. Un point d'aspiration peut permettre l'aspiration des gaz et la mise en dépression d'une surface jusqu'à 250 m<sup>2</sup> sur une structure simple. L'opérateur doit s'assurer que la dépression maintenue soit de l'ordre de 4 à 10 Pa. Si une dépression plus faible est obtenue, l'installation devra faire l'objet d'une surveillance renforcée. Il a néanmoins été démontré qu'une dépression d'1 Pa peut être suffisante dans certains cas pour diminuer les concentrations de composés volatils sous la dalle. Les points d'aspiration sont reliés à un réseau plastique (PVC, PEHD à définir en fonction des composés volatils mis en jeu) de l'ordre de 100 mm de diamètre.

- le Système de Dépressurisation Sous Membrane (SDSM). Généralement installées dans un vide sanitaire. Une membrane (d'une épaisseur minimale de 250 à 400  $\mu\text{m}$  si le lieu n'est pas fréquenté, ou d'une épaisseur plus importante si cette membrane est susceptible de subir des sollicitations mécaniques) imperméable aux gaz (PolyEthylène Haute Densité par exemple) peut être posée de manière à recouvrir le sol dans son intégralité. Elle devra être lestée et si nécessaire recouverte d'une mince couche (5 à 6 cm) de mortier maigre voire de sable pour garantir sa pérennité dans le temps. Dans ce cas, on aura préalablement vérifié qu'aucun matériau susceptible de poinçonner la membrane n'est présent sur le sol ou dans le matériau recouvrant. La mise en place d'une membrane continue sur toute la surface concernée par le SDSM sera privilégiée. Néanmoins si cela n'était pas possible, une attention particulière sera portée à l'étanchéité au niveau des jonctions entre les lés. Ainsi, un recouvrement minimal de 15 cm est préconisé. Il est fortement recommandé que la jonction soit réalisée par soudure thermique. Dans ce dernier cas, il faudra être vigilant vis à vis des préconisations du fabricant afin de ne pas endommager la membrane lors de cette soudure et pratiquer un contrôle des soudures (ces opérations de pose, soudure et contrôle sont réalisés par des entreprises spécialisées et disposant des agréments nécessaires). Pour éviter l'accumulation des vapeurs sous la membrane, un tube plastique (PVC, PEHD à définir en fonction des composés volatils mis en jeu) est inséré à travers un trou découpé dans cette membrane. Afin de favoriser la mise en dépression, la membrane est étanchée au niveau du raccordement. L'étanchéité du dispositif le long des murs de la pièce devra être réalisée avec le plus grand soin. Pour cela, la membrane pourra être fixée au mur à l'aide d'un « plat alu » ou équivalent. Une attention particulière sera portée sur l'étanchéité entre le mur et la membrane ainsi qu'au niveau des vis de fixation dans le mur (perçement de la membrane).



- la mise en place d'une dalle en béton directement sur le film imperméable qui recouvre un massif filtrant. Cette solution sera privilégiée dans le cas d'une cave sur terre battue ; cette configuration étant de nature à faciliter les intrusions de vapeurs dans un bâtiment. Dans le cas d'une maison individuelle, la dalle béton aura une épaisseur minimale de 12 cm et sera obligatoirement armée (norme NF P 11-213-3 et DTU 21). Selon la norme, dans le cas d'un local à usage autre qu'industriel, l'épaisseur minimum sera de 13 cm (armée ou non), et de 15 cm (armée ou non) dans le cas d'un local de type industriel. L'aplanissement et le compactage du massif

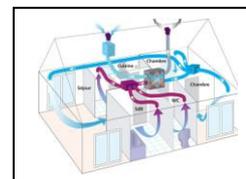
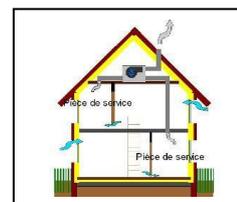
de graviers (diamètre des graviers de 2 cm minimum) seront soigneusement réalisés afin d'éviter que l'étanchéité par membrane ne puisse être remise en cause si le massif drainant venait à se compacter naturellement et que le poids du béton de la dalle endommagerait la membrane. Il est également préconisé que l'épaisseur de la couche drainante soit 100 mm plus grande que le diamètre du tuyau de drainage et que son épaisseur soit de 150 mm minimum. Par ailleurs, la membrane devra être protégée de tout risque de poinçonnement par la mise en place de géotextiles.

#### 8.4. Mesures pour limiter l'accumulation des substances volatiles dans un bâtiment

Le principe consiste à favoriser la circulation de l'air dans différentes parties d'un bâtiment en utilisant un équipement spécifique. Elle permet un renouvellement plus important de l'air dans le bâtiment, et limite ainsi l'accumulation de vapeurs à l'intérieur de ce bâtiment. **Dans des conditions normales d'utilisation, la ventilation forcée peut permettre un renouvellement de l'air jusqu'à 5 volumes/heure.** Dans le cas d'un nouveau bâtiment BBC, il faudra néanmoins s'attacher à vérifier que cette ventilation est compatible avec les objectifs BBC, la surventilation ne faisant pas partie des exigences BBC.

Différents types de Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) existent :

- **VMC Simple Flux par Insufflation**
- **VMC Simple Flux par Extraction**
- **VMC double Flux**



#### 8.5. Mesures pour prévenir l'intrusion des substances volatiles dans les réseaux

La perméation est un phénomène qui consiste en un transfert de vapeur depuis le sol jusqu'à l'intérieur d'une canalisation, même sous pression. Dans les zones très polluées, le phénomène de perméation peut apparaître sans même qu'il y ait contact des sols contaminés avec les canalisations ou les joints. Les molécules de gaz de petites tailles peuvent en effet passer à travers la structure d'un matériau poreux par diffusion, sans nécessairement de défaillance mécanique du plastique. Les conduites (eau, gaz...) représentent alors autant d'entrées potentielles de produits polluants dans les bâtiments. La perméation dans les réseaux de distribution d'eau potable apparaît lorsque des contaminants migrent à travers la paroi de la canalisation ou à travers des jonctions qui assurent un lien entre les différents canaux.

Les contaminants usuellement rencontrés dans les mécanismes de perméation à travers les canalisations flexibles sont des composés organiques lipophiles tels que les solvants chlorés, les HAP (notamment les plus légers), ou encore les BTEX. Dans le cas de l'ancien site Azur Chimie, ou les solvants chlorés sont très présents, ce risque est à considérer avec attention.

Une étude au Royaume-Uni préconise des concentrations maximum au-dessus desquelles il est recommandé d'apporter une attention particulière à la sélection du matériau constituant la canalisation, afin de limiter les risques de perméation.

		Polluant	Valeurs limites dans les sols (mg/kg MS)			Polluant	Valeurs limites dans les sols (mg/kg MS)
Composés organiques		Goudron de houille	50	Composés organiques		Benzène	0,5
		Cyclohexane	50			Toluène	50
		Tétrachlorocarbone	0,15			Xylènes	2,5
		Trichloroéthylène	1,5			Ethylbenzènes	-
		Tétrachloroéthylène	0,5			Propylbenzènes	-
		1,2-dichloroéthylène	-			1,3,5-Triméthylbenzène	25
		1,1,1-trichloroéthane	-			Phénol	5
		dichloropropane	-			Chlorophénols	1
		bromométhane	20			Dichlorophénols	3
		Chlorobenzène	0,1			Trichlorophénols	5
		Dichlorobenzènes	0,015			HAP	50
		Trichlorobenzènes	0,25			HCT	50

**Tableau 13 : Valeurs indicatives dans les sols en vue de la sélection du matériau constituant une canalisation**

Il peut ainsi être considéré que toute la zone de contamination par des solvants chlorés (panache à 5 mg/kg) doit faire l'objet des précautions suivantes :

- Prévoir le remblaiement de la tranchée avec des matériaux sains «non polluants» ;
- Prévoir la mise en place de conduites métalliques ou multicouches.

## 9. Restrictions d'usage envisageables

Les voies d'exposition retenues dans le schéma conceptuel initial sont basées sur un certain nombre d'hypothèses d'usage qu'il conviendra de formaliser sous une forme juridique qui n'est pas définie à ce stade.

### 9.1. Restrictions d'usage pour les sols

Les restrictions d'usage pour les sols devront être les suivantes :

- **Gestion particulières des travaux d'excavation** : Les travaux nécessitant l'excavation ou le contact avec des terres contaminées résiduelles devront être gérés de manière à assurer la traçabilité des mouvements de terre et le contrôle des filières d'élimination des matériaux extraits ;
- **Aucun jardin potager ou arbre fruitier** ne devra être implanté dans les zones comprenant des terres contaminées résiduelles ou ceux-ci devront être implantés hors sol avec une barrière physique empêchant le passage des racines.

### 9.2. Restrictions d'usage pour les eaux souterraines

**L'utilisation de la nappe superficielle sera à interdire pour tous les usages.**

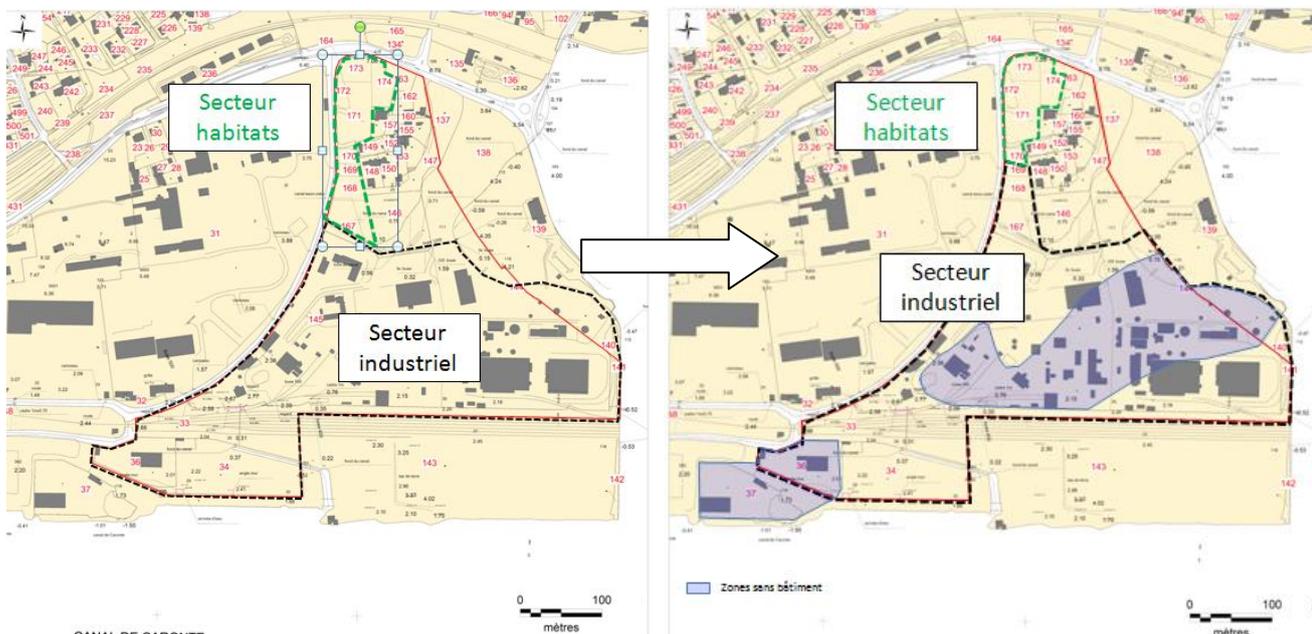
## 10. Plan de gestion proposé

Sur la base de l'ensemble des techniques de gestion des pollutions inventoriées dans les chapitres précédents, il est proposé le plan de gestion suivant faisant appel à une réorientation des aménagements prévus, à des travaux de dépollution, à des mesures constructives et à des restrictions d'usage.

### 10.1. Réorientation des aménagements

Il est proposé de réorienter l'usage des parcelles cadastrales n°167 à 170 initialement prévues pour l'habitat collectif vers un usage industriel en raison de la pollution importante en métaux identifiée au droit de ces parcelles.

En outre il est proposé de n'installer des bâtiments sur les parcelles cadastrales n°34, 144, 145 et 167 à 170 qu'en dehors des zones fortement polluées en solvants (concentrations totales en solvants halogénés inférieures à 5 mg/kg). Il est proposé de ne pas installer de bâtiment sur les parcelles 37 et 36 en raison de la forte concentration en 1,2-dibromoéthane dans les eaux. Une variante est proposée au chapitre 10.2 pour dépasser cette restriction d'usage.



**Réorientation des usages proposée**

## 10.2. Travaux de dépollution et confinement

### **Décapage des zones impactées au droit des futurs habitats :**

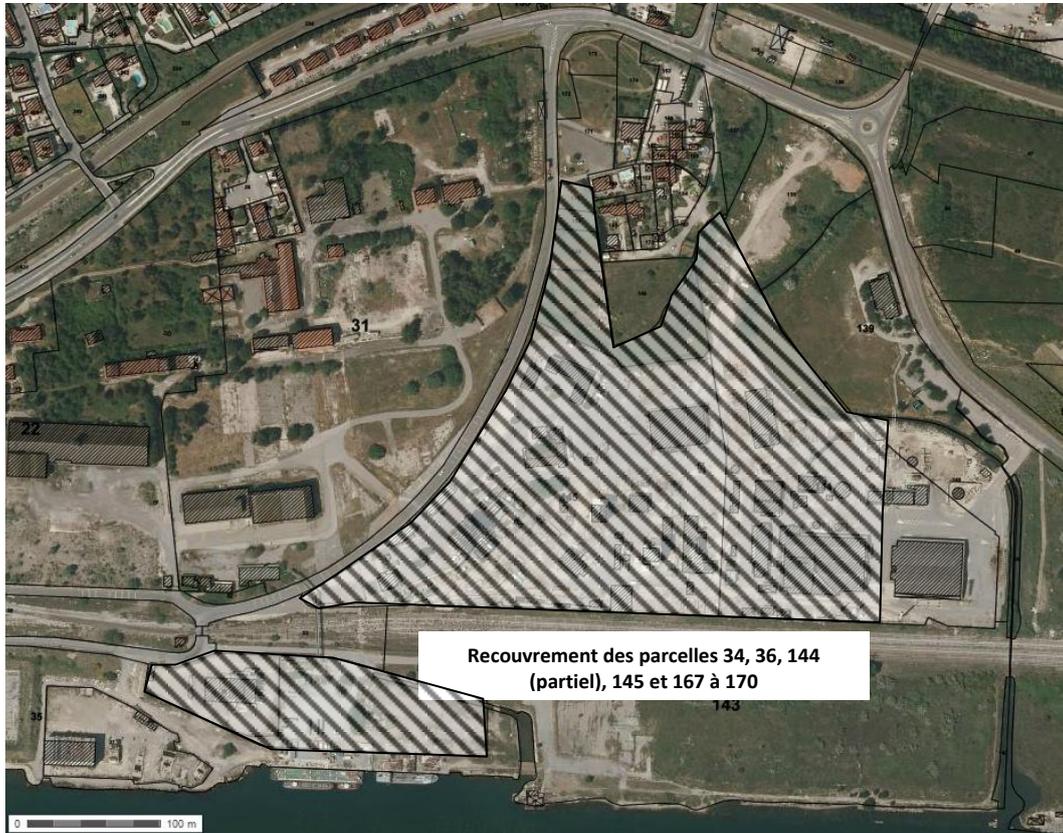
Il est proposé, pour les parties les moins impactées (au droit d'une partie des parcelles 171 à 174) et destinées à des habitats collectifs, de purger les remblais impactés jusqu'aux seuils de dépollution définis pour les habitations. Ceci permettra d'éliminer la source de pollution et de restituer des terrains neutres dont les concentrations en métaux seront équivalentes aux bruits de fond locaux ou aux valeurs considérées comme normales dans le référentiel national. Les volumes en jeu sont estimés au maximum à 1 200 m<sup>3</sup>. L'absence de contamination résiduelle permettra de s'affranchir de dispositions constructives dans cette zone et donnera donc plus de liberté aux aménageurs. Précisons que les terrains situés sous des futures voiries dans cette zone d'aménagement pour l'habitat ne nécessitent pas nécessairement de purge. En cas de nécessité de remblaiement, des matériaux « propres » devront être acheminés.

L'autre avantage de ce décapage est de fournir localement des matériaux de couverture pour la partie basse puisque les concentrations des parcelles 171 à 174 sont compatibles avec les objectifs de dépollution du site Azur Chimie (Parcelles 34, 36, 140, 141, 144 et 145) et des parcelles 167 à 169.



**Recouvrement des zones impactées au droit de la future zone d'activité industrielle :**

Il est proposé de recouvrir la quasi totalité des parcelles 34, 36, 144 (partiel), 145 et 167 à 170 en cas d'absence de voirie ou de dalle existante et en bon état.



La couche de recouvrement sera constituée a minima de 30 cm de matériaux répondant aux critères de réhabilitation. Elle comprendra à sa base un filet avertisseur et 30 cm de matériaux. Pour les espaces végétalisés, il est recommandé de mettre en place une couche de remblais compactés (type grave calcaire 0/20) sur 10-15 cm pour empêcher l'activité des animaux fouisseurs puis de la terre végétale. Sur les zones déjà recouvertes de voiries ou de déblais propres (déblai de démolition par exemple) la mise en place d'une couverture nouvelle ne sera pas forcément nécessaire du moment que les matériaux déjà en place respectent les critères de dépollution.

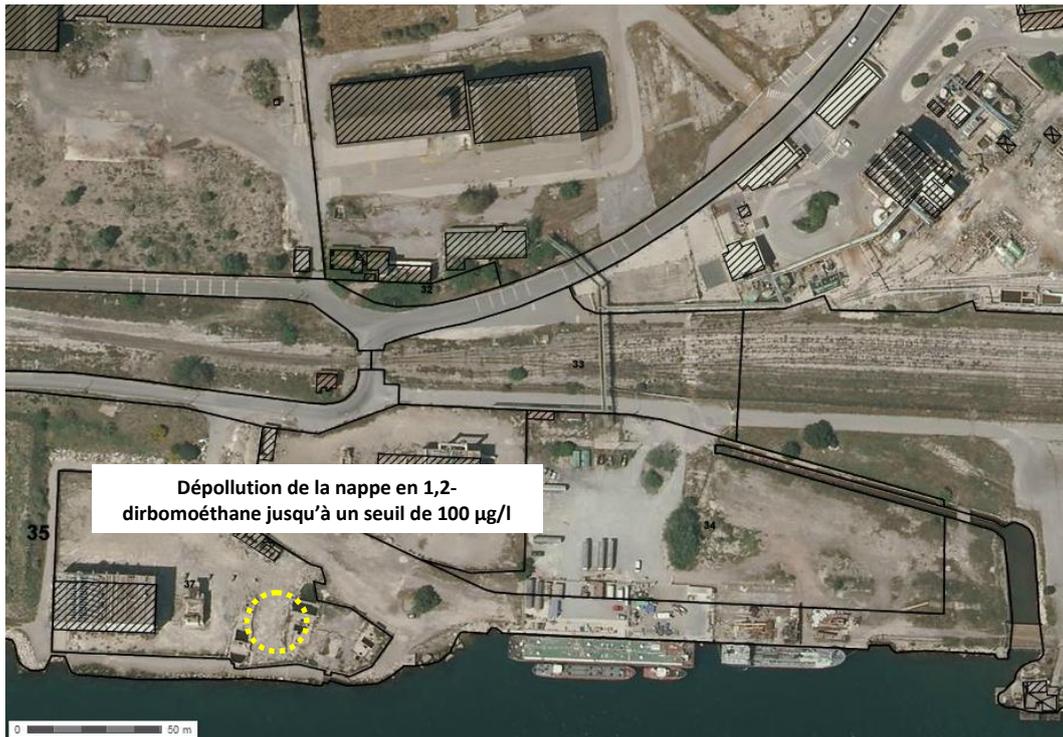
**Dépollution des sols pollués en hydrocarbures :**

Il est proposé d'excaver les sols pollués en hydrocarbures au droit du parking des anciens bureaux administratifs au nord du secteur FC. L'excavation et l'élimination hors site est proposée pour ce cas précis en raison de la taille limitée de la source. La filière d'élimination hors site sera très probablement l'ISDD en raison de la présence concomitante de métaux qui limiteront l'accès en biocentre.



**Dépollution de la nappe autour du piézomètre P107 sur l'ancienne pomperie d'eau de mer :**

Ceci est une variante à l'interdiction de bâtiment au droit des parcelles 36 et 37 (cf chapitre 10.1). En effet, afin de pouvoir installer des bâtiments malgré la présence de 1,2-dibromoéthane, il est proposé de réaliser un traitement local de la nappe par oxydation chimique in-situ à proximité du piézomètre P107. Ce traitement devra permettre de d'atteindre une concentration résiduelle < à 100 µg/l de 1,2-dibromoéthane (contre 1200 µg/l mesurés en 2010). L'oxydation chimique in-situ (soil mixing) apparait techniquement la plus propice pour réaliser ce traitement. Une phase de reconnaissance précise de l'extension de la pollution et une phase pilote permettront de dimensionner le traitement exact à réaliser.



#### **Renforcement de la berge du ruisseau saint jean :**

La berge située en rive droite du ruisseau saint jean, à hauteur de l'ancien atelier PYROCHECK devra faire l'objet d'une étude de stabilité et au besoin sera renforcée pour s'assurer de sa tenue en cas de crues exceptionnelles.



Compte tenu de la faible mobilité de la nappe, de la qualité déjà médiocre du ruisseau Saint Jean, de l'absence d'usage sensible au niveau du ruisseau et du coût d'un confinement vertical, cette option n'a pas été retenue dans le plan de gestion.

### 10.3. Dispositions constructives

Au droit des futures habitations (parcelles 171 à 174), compte tenu de l'évacuation des remblais pollués, il ne sera pas imposé de mesures constructives particulières ce qui laissera toute la latitude possible aux aménageurs.

Au droit des parcelles 167 à 170 il est proposé d'imposer les mesures constructives **passives** suivantes par mesure de précaution par rapport aux émanations possibles de composés halogénés volatils dans les sols :

- Construction des bâtiments neufs sur vide sanitaire hors sol. Conception des vides sanitaires pour obtenir une ventilation forte (ouverture d'aération représentant plus de 15 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>). Installation de la trappe d'accès à l'extérieur. Aération supplémentaire des vides sanitaires par l'installation de cheminées d'aération ;
- Renforcement de l'étanchéité des dalles des bâtiments neufs par la pose d'une membrane en PEHD soudée sur la totalité de la surface de la dalle avant qu'elle ne soit coulée. Utilisation de bétons spéciaux (ajouts de super-plastifiants ou d'adjuvants minéraux) permettant d'optimiser l'étanchéité des dalles. Etanchéification des passages de conduite ;
- Installation des canalisations enterrées d'eau potable dans des remblais sains ;

Au droit des parcelles 34,140, 141, 144 à 145 il est proposé de limiter l'implantation de nouveaux bâtiments aux zones supposées les moins polluées en composés organiques halogénés (soit avec des concentrations en solvants halogénés totaux inférieures à 5 mg/kg) (cf chapitre 10.1). En plus de ces contraintes de localisation, il est proposé d'imposer les mesures constructives **actives** suivantes en plus des mesures passives décrites ci-dessus en raison des risques de teneurs importantes en composés halogénés :

- Mise en place d'un système de dépressurisation sous dalle : une dalle à l'étanchéité renforcée (voir mesures passives) devra être installée à la base du vide. Un point d'aspiration des gaz sera mis en place par surface unitaire de 250 m<sup>2</sup> au travers de la dalle. Un dispositif devra assurer l'étanchéité entre la dalle et le tube. Le tube devra être constitué d'un tube en PEHD de diamètre minimum 100 mm. Un système de mise en dépression garantira une dépression de l'ordre de 4 à 10 Pa. Les gaz aspirés seront rejetés en toiture.
- Mise en place d'une aération mécanique des bâtiments. la ventilation forcée devra permettre un renouvellement de l'air jusqu'à 5 volumes/heure.
- La totalité des canalisations d'eau potable devra être en métal ou constituée de multicouche comprenant une feuille de métal ;

En cas de plantation d'arbres fruitiers à vocation ornementale, ceux-ci devront être installés dans des bacs hors sol.

#### **10.4. Restriction d'usage**

- Par mesure de précaution compte tenu du passé industriel du site et de la présence possible de petites zones polluées résiduelles qui n'auraient pas été identifiées, la présence de jardins individuels devra être interdite dans la future zone d'habitation. De tels jardins ne sont actuellement pas prévus le projet d'aménagement. Pour déroger à cette interdiction il faudrait réaliser des analyses complémentaires de vérification de la qualité des sols, au droit même des futurs jardins envisagés et réaliser des calculs de risques spécifiques ;
- Au droit de la zone de recouvrement des remblais pollués, la réalisation de travaux d'excavation devra être soumise à un contrôle strict avec un protocole d'excavation, des analyses de sols et des filières d'élimination des sols pollués ;
- Au droit des zones les plus impactées en solvant halogénés, la construction de bâtiment sera interdite ;
- L'utilisation de l'eau souterraine au droit de la parcelle basse sera interdite.

#### **10.5. Schéma conceptuel mis à jour**

Sur la base des mesures envisagées ci-dessus, le schéma conceptuel peut être mis à jour :

Sources considérées	Modes de transfert possibles	Milieu d'exposition	Voies d'exposition potentielles	Retenu	Justification
<b><u>SOLS IMPACTES</u></b>	Contact direct		<del>Contact cutané</del>	NON	Le contact cutané va être totalement supprimé par le recouvrement.
	Contact direct		<del>Ingestion</del>	NON	L'ingestion de sol va être totalement supprimée par le recouvrement.
	<b><u>Emission de volatiles</u></b>	Air	<del>Inhalation de vapeurs</del>	NON	Le recouvrement ne permet pas de s'affranchir des émanations gazeuses. Des dispositions constructives et les restrictions d'usage permettront de limiter les risques liés aux solvants halogénés.
	<b><u>Envol de poussières</u></b>	Poussières	<del>Inhalation de poussière</del>	NON	L'inhalation de poussière va être totalement supprimée par le recouvrement.
	<b><u>Absorption par les légumes</u></b>	Légumes	<del>Ingestion de fruits et légumes</del>	NON	Non (restriction d'usage sur site)
	<b><u>Diffusion vers les canalisations</u></b>	Eau de distribution	<del>inhalation, ingestion et contact cutané</del>	NON	Le risque de perméation sera limité par des dispositions constructives spécifiques.
<b><u>NAPPE IMPACTEE</u></b>	Contact direct		<del>Contact cutané</del>	NON	Non (restriction d'usage sur site)
	Contact direct		<del>Ingestion</del>	NON	Non (restriction d'usage sur site)
	<b><u>Emission de volatiles</u></b>	Air	<del>Inhalation de vapeurs</del>	NON	Le risque d'inhalation sera limité par les dispositions constructives spécifiques.
	<b><u>Aspersion de légumes</u></b>	Légumes	<del>Ingestion de fruits et légumes</del>	NON	Non (restriction d'usage sur site)

**Tableau 14 : Enjeux à protéger via des dispositions constructives**



Voie d'exposition supprimée par les travaux de dépollution

Voie d'exposition supprimée par les restrictions d'usage

Voie d'exposition supprimée par les mesures constructives

## 10.6. Contrôle de l'application des mesures de gestion prévues

Conformément à la méthodologie nationale et à la circulaire du 8 Février 2007, un suivi de la bonne application des mesures prévues devra être mis en œuvre. Ce suivi sera réalisé par une entité indépendante en charge des opérations de réhabilitation, et comprendra notamment :

- le suivi de chantier,
- les opérations d'enlèvement de déchets éventuels,
- la gestion des terres et des mouvements de matériaux, la validation des filières et les lieux d'évacuation envisagés par l'entreprise en charge de la dépollution et la traçabilité des terres par bordereaux de suivi des déchets (BSD) et Bordereaux de suivi des terres excavées réutilisables (BSTR) et le suivi des opérations de réception des flancs et fonds de fouilles avant remblaiement,
- un mémoire décrivant les mesures de gestion mises en œuvre (confinement), les procédures de gestion des terres, les opérations de réception, les filières de destination des terres, et l'analyse des risques résiduels (ARR) au terme des travaux.

Au niveau des zones excavées au droit des futurs habitats collectif, il est proposé de réceptionner les fonds d'excavation avec 1 échantillon pour 1000 m<sup>2</sup> et/ou 1 échantillon de fond de fouille sous chaque bâtiment.

En cas d'apport de matériaux propres, ceux-ci devront faire l'objet d'une analyse (type pack ISDI+ analyse des 8 métaux sur brut) par lot de 1000 m<sup>3</sup> (ce nombre d'analyse pourra être augmenté : ex 1 analyse/lot de 400 m<sup>3</sup>, en cas de remblais d'origines différentes).

Les résultats d'analyses sur brut devront être conformes aux seuils de réhabilitation ou, à défaut de seuils disponibles, aux valeurs de référence de l'annexe 2 de l'arrêté du 12 décembre 2014.

Les résultats d'analyses sur éluât devront être conformes aux valeurs de référence de l'annexe 2 de l'arrêté du 12 décembre 2014 pour les métaux, le COT les chlorures et l'indice phénol. En revanche pour la fraction soluble et les sulfates, il est proposé de retenir comme critères les valeurs moyennes mesurées pour les sols locaux (référence sur le site de la Vieille Montagne) à savoir :

- Fraction soluble : 15 000 mg/kg MS ;
- Sulfates : 10 000 mg/kg MS.

## **10.7. Mesures concernant la prévention des risques professionnels, l'hygiène, la sécurité des travailleurs durant les travaux et/ou l'aménagement du site**

### **10.7.1. Pour le personnel sur chantier**

Tout projet d'aménagement ou de travaux pouvant engendrer des contacts avec les sols devra être précédé d'une évaluation des risques. Cette évaluation définira, en conformité avec la réglementation en vigueur, les mesures de prévention qui pourront être mises en œuvre lors des travaux. Un respect des consignes habituelles d'hygiène et sécurité dans le domaine des travaux sur les Sites et Sols Pollués sera strictement appliqué (cf. Hygiène et Sécurité sur les chantiers de sites industriels pollués, ADEME, INRS, 2002).

Ces recommandations sont intégrées dans le mode opératoire proposé par l'entreprise de Travaux en charge des travaux de réhabilitation du site.

### **10.7.2. Pour les riverains**

Toutes les dispositions devront être prises pour limiter les envols de poussière à l'intérieur de l'enceinte du chantier et devront permettre de réduire les nuisances à l'extérieur (aspersion des pistes, arrêt des travaux en cas de vent violent, transport par camions bâchés etc....).

## 11. Analyse des Risques Résiduels

Les détails de l'analyse des Risques Résiduels sont présentés en Annexe 3. Les calculs confirment que les objectifs de dépollution proposés et les travaux envisagés sont bien compatibles avec les usages envisagés.

En effet le Quotient de Danger (QD) et l'Excès de Risque Individuel (ERI), sont inférieurs aux critères sanitaires en vigueur définis dans la circulaire ministérielle du 8 février 2007 :

<p><b>QD &lt; 1</b> <b>ERI &lt; 10<sup>-5</sup></b></p>
---

## 12. Résumé

La Ville a acquis en 2012 les terrains de l'ancienne usine d'Azur Chimie et souhaite aujourd'hui inscrire le secteur de Caronte dans un contexte de redéploiement urbain (habitat et activités économiques non polluantes) en cohérence avec le PLU dans la perspective de la création d'une zone d'aménagement future équilibrée financièrement. C'est dans ce contexte que la ville de Port de Bouc a mandaté Antea Group pour la réalisation d'un Plan de Gestion permettant de définir les modalités de réaménagement de l'ancien site Azur Chimie et des parcelles cadastrales 167 à 174 au Nord en tenant compte des contraintes liées aux pollutions anciennes dans le sous-sol laissées par les activités industrielles.

Les terrains situés au Nord sur les parcelles cadastrales 167 à 174 n'ont pas ou peu fait l'objet d'une exploitation industrielle et sont voués à l'habitat collectif. L'ancien site Azur Chimie et sa zone de pomperie au Sud ont eux été largement exploités pour des activités industrielles et sont voués à l'installation d'activités industrielles légères.

L'usine a été construite sur l'anciens marais salins (Etang de Gafette) remblayés à partir des années 20 par les résidus de grillage de pyrite de l'usine Kuhlmann voisine. L'activité au droit de l'ancienne usine Azur chimie a débuté en 1939 avec la création d'un atelier de fabrication de brome et de ses dérivés notamment du dibromoéthane (DBE). L'activité de synthèse de composé organiques halogénés s'est développée jusqu'à la fermeture de l'usine Azur Chimie en 2010. Une activité de fabrication de Fongicides a été développée en partie Est du site à partir de 1956 et jusqu'au début des années 1990.

Le remblaiement initial des terrains par les résidus de pyrite a généré des impacts importants en métaux As-Pb-Hg, Cd et Zn en partie sud-est du site Azur Chimie et au niveau de la pomperie d'eau de mer, qui ont été remblayés en premier, avec de fortes épaisseurs de remblais impactés (supérieures à 1 mètres). Les impacts en métaux sont moins importants voire nuls en partie Est et Nord-Est de la plateforme qui a été remblayée en dernier, avec des épaisseurs de remblais impactés en métaux moins importantes. Des impacts en métaux ont également été notés au droit des parcelles 167 et 170 sur lesquelles des remblais fortement impactés en métaux ont été identifiés jusqu'à 0,5-0,7 m de profondeur. Malgré ces concentrations importantes dans les sols, seuls 3 métaux lourds (Arsenic, sélénium, et molybdène) présentent des impacts significatifs sur la qualité de la nappe avec localement des concentrations pouvant représenter jusqu'à 5 fois la valeur de référence. A noter également de fortes concentrations en manganèse représentant jusqu'à 60 fois la valeur de référence.

L'activité de synthèse de composés organiques halogénés est également à l'origine d'impacts majeurs sur les sols et la nappe en raison de déversement de surface. La principale source de pollution s'étend en partie centrale du site au droit des anciens ateliers BABE, de l'ancien bassin de lissage et au droit de l'atelier PYROCHECK où différents remblais pollués ont été déposés. Cette zone source est principalement impactée, au droit de l'atelier BABE et du bassin de lissage, par la famille des chlorométhanés, (tétrachlorure de carbone et de ses produits de dégradation, trichlorométhane puis dichlorométhane et chlorométhane), le 1,2-dibromoéthane, le disulfure de carbone. Au droit de la zone de remblais, ces mêmes composés ainsi que les fongicides qui étaient synthétisés sur le site (Ofurace, Phtalimide, Captan, Folpet, Tétrahydrophthalimide, Diméthylaniline) sont mesurés.

Les eaux souterraines sont fortement impactées par des composés halogénés et disulfures de carbone dans la partie centrale du site : au droit de l'ancien atelier BABE et du bassin de lissage ainsi qu'en aval de l'atelier PYROCHECK au nord du site. Des concentrations de plusieurs dizaines de mg/l de tétrachlorométhane et trichlorométhane ont ainsi été détectées. En périphérie du site (hormis au Nord Est de l'atelier PYROCHECK), les impacts sont de plusieurs ordres de grandeur inférieurs à ceux de la partie centrale/aval PYROCHECK, ce qui semble plaider pour une faible mobilité de la pollution. Les pesticides sont beaucoup moins concentrés et répandus dans les eaux souterraines que les solvants halogénés mais même s'ils ont été mesurés localement (en aval de l'atelier PYROCHECK) en concentration nettement supérieure à la valeur de référence pour le tétrahydrophthalimide. Cette pollution est peu mobile et ne semble pas se dégrader rapidement dans le temps.

Les contaminations des sols et des eaux souterraines induisent un impact net sur les concentrations en gaz de sols au droit de l'ancien site Azur Chimie avec principalement la présence de 1,2 dibromoéthane, trichlorométhane, 1,2-dichloroéthane et tétrachlorométhane. Des prélèvements dans l'air ambiant de bâtiments ont permis d'identifier la présence de trichlorométhane, tétrachlorométhane, Cis-1,2-dichloroéthylène, 1,2-dichloroéthane et 1,2-dibromoéthane attestant du passage des composés halogénés des sols, à l'eau puis aux gaz de sol jusqu'à l'air ambiant dans des bâtiments.

La présence de composés volatils dans l'air ambiant des bâtiments (aujourd'hui démolis) à des concentrations jugées en 2010 non compatibles avec un usage industriel attestent de l'importance des pollutions en place. Dans ce contexte, le réaménagement du site doit utiliser plusieurs leviers d'action distincts pour rendre les usages compatibles avec la pollution en place. Ces leviers sont : la redéfinition du découpage entre activité industrielle et habitat, la réalisation de travaux de dépollution, la mise en œuvre de mesures constructives et la mise en place de restriction d'usage.

1. Ainsi il est tout d'abord proposé de limiter les risques et les travaux de dépollution en vouant uniquement à l'habitat les parcelles cadastrales 171 à 174. Les parcelles 167 à 170 seraient alors aménagées pour un usage industriel tandis que les anciennes parcelles du site Azur Chimie resteraient à vocation industrielle. Enfin, au sein des parcelles vouées à un usage industriel, il a été proposé de délimiter une zone d'exclusion de bâtiment au droit de laquelle aucun bâtiment ne devra être construit.

2. En second lieu, des travaux de dépollution ont été proposés. Ces travaux sont : le décapage des terres au droit des parcelles 171 à 174 dans le but de supprimer toutes les contraintes aux futurs aménageurs de ces zones ; le recouvrement de l'ensemble des sols pollués par les métaux afin de supprimer tout risque d'inhalation de poussière ; l'excavation des sols impactés par les hydrocarbures (concentrations supérieures à 1500 mg/kg) au nord de la zone FC ; et si besoin, le traitement par oxydation in-situ de la nappe polluée en 1,2-dibromoéthane au droit des parcelles 37-36.
3. En troisième point, des dispositions constructives ont été recommandées incluant notamment, le drainage des gaz sous dalle, la construction de bâtiments sur vide sanitaire, la mise en place de dalles étanches, la ventilation des vides sanitaires, la ventilation mécanique des bâtiments ;
4. Enfin en dernier point, des restrictions d'usage ont été proposées comprenant l'interdiction de l'usage de l'eau souterraine, l'interdiction de jardins privés individuels et la mise en place de procédures spécifiques en cas d'excavation des sols.

Note importante : le plan de gestion correspond à un cadrage général des travaux à effectuer. Pour chaque zone dont le projet d'aménagement aura été bouclé, une campagne légère de travaux d'investigations complémentaires sera nécessaire afin d'effectuer une levé de doutes sur les concentrations présentes et adapter au mieux les travaux de réhabilitation.

## **Observations sur l'utilisation du rapport**

*Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEA ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.*

*Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.*

*La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par ANTEA ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.*

*ANTEA réalise ses prestations dans le respect des principes de la norme AFNOR 31-620, de septembre 2003. Cette norme constitue le support du Référentiel de labellisation QUALIPOL, établi par l'UPDS, dont ANTEA est membre. ANTEA applique les recommandations de la politique de gestion des sites et sols pollués du MEEDDAT, initiée en février 2007 et exprimée dans les circulaires de 2007. Les prestations prévues ci-dessus entrent dans la codification QUALIPOL.*

## Listes des figures

**Figure 1 Localisation des sites**

**Figure 2 Plan cadastral de la zone d'étude**

**Figure 3 Activités exercées sur la zone FC**

**Figure 4 Activités exercées sur la zone FR**

**Figure 5 Contexte géologique de la zone d'étude**

**Figure 6 Localisation des panneaux de l'inspection géophysique de Geolithe (août 2002)**

**Figure 7 Carte piézométrique de janvier 2010 (Extrait rapport Antea A57328A)**

**Figure 8 Carte de localisation des points d'eau à moins de 1 km du site**

**Figure 9 Inventaire des sites BASIAS et BASOL à proximité de la zone d'étude (500m de rayon)**

**Figure 10 Carte des impacts en arsenic entre 0 et 1m de profondeur**

**Figure 11 Carte des impacts en plomb entre 0 et 1m de profondeur**

**Figure 12 Carte des impacts en mercure entre 0 et 1m de profondeur**

**Figure 13 Carte des impacts en cadmium entre 0 et 1m de profondeur**

**Figure 14 Carte des impacts en cuivre entre 0 et 1m de profondeur**

**Figure 15 Carte des impacts en zinc entre 0 et 1m de profondeur**

**Figure 16 Carte des impacts en chrome entre 0 et 1m de profondeur**

**Figure 17 Carte des impacts en nickel entre 0 et 1m de profondeur**

**Figure 18 Carte des impacts en hydrocarbures totaux**

**Figure 19 Carte des impacts en HAP**

**Figure 20 Carte des impacts en PCB**

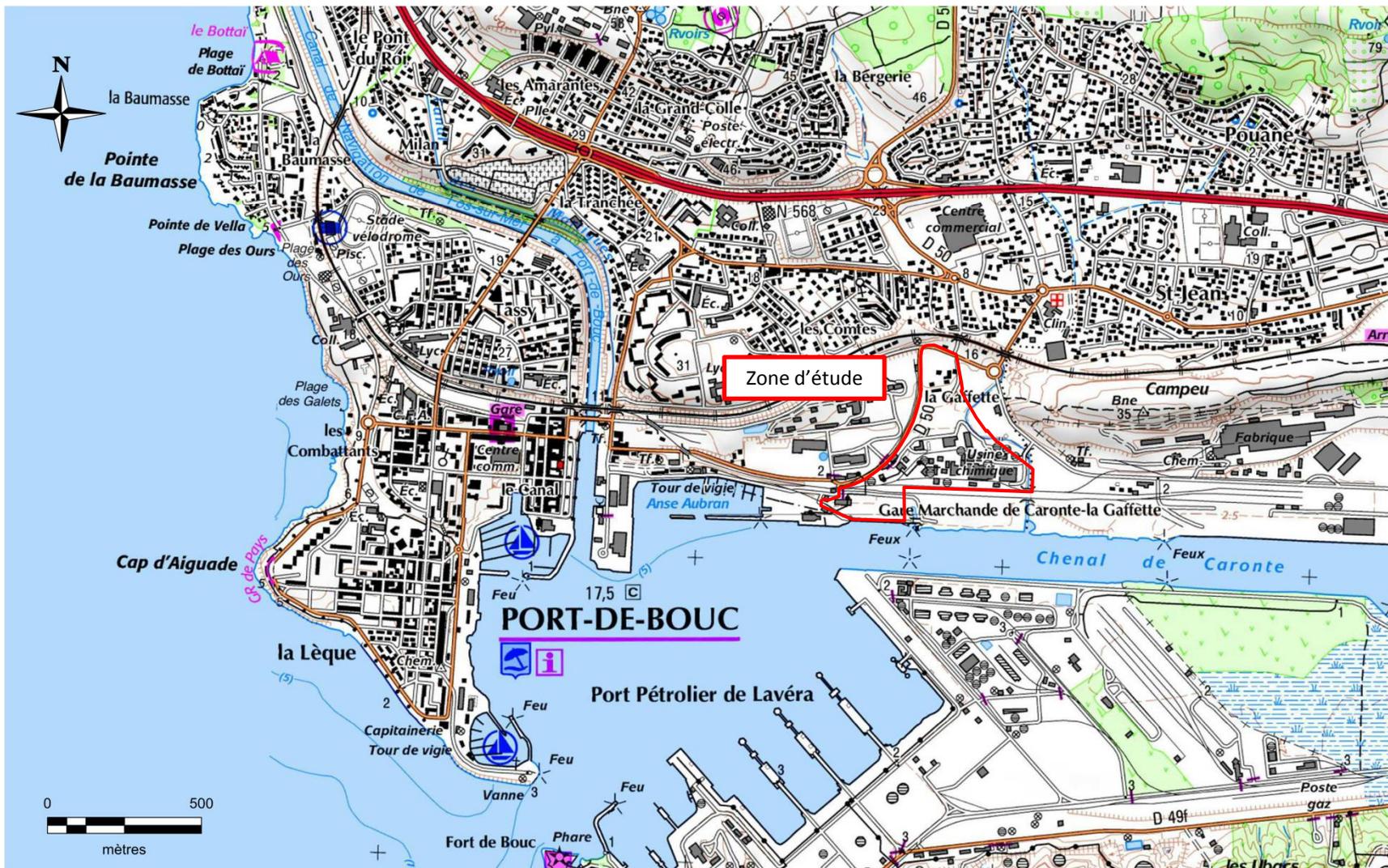
**Figure 21 Carte des impacts en 1,2-dichloroéthane**

**Figure 22 Carte des impacts en 1,2-dibromoéthane**

**Figure 23 Carte des impacts en tétrachlorure de carbone**

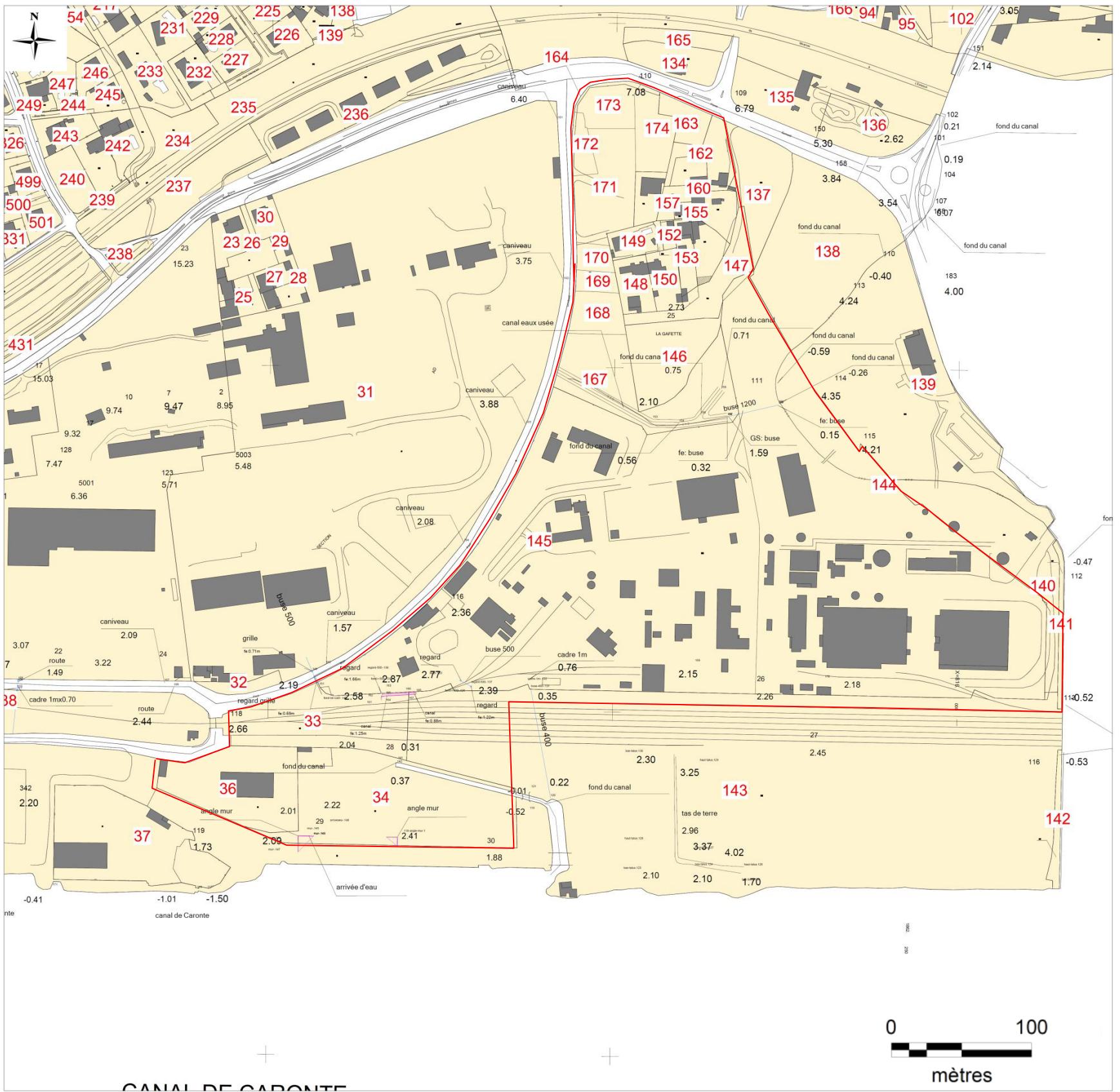
**Figure 24 Carte des impacts en solvant**

**Figure 25 Concepts de réaménagement de la zone d'étude**



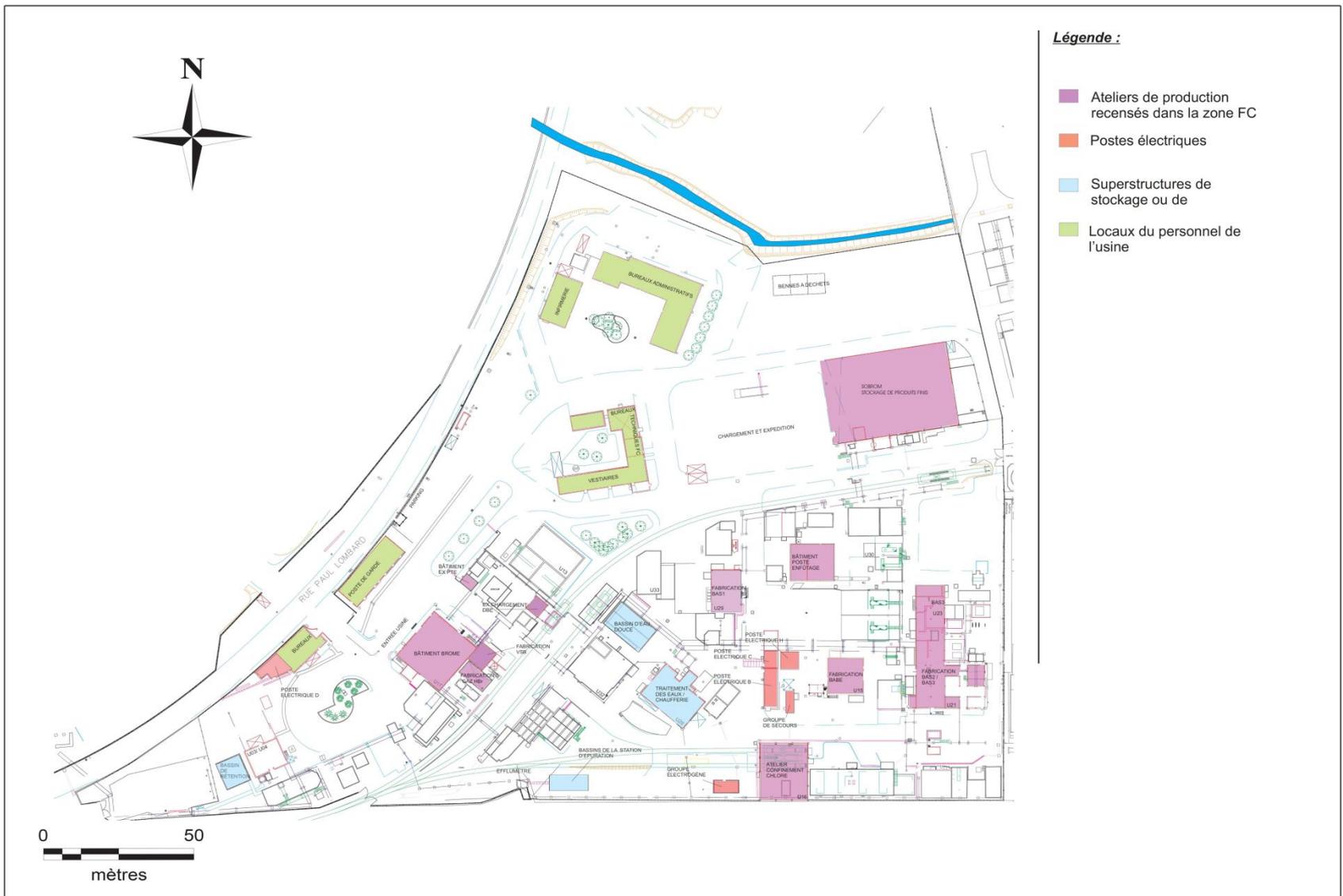
**Figure 1:**  
**Localisation des sites**

A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 2:**  
**Plan cadastrale de la zone d'étude**

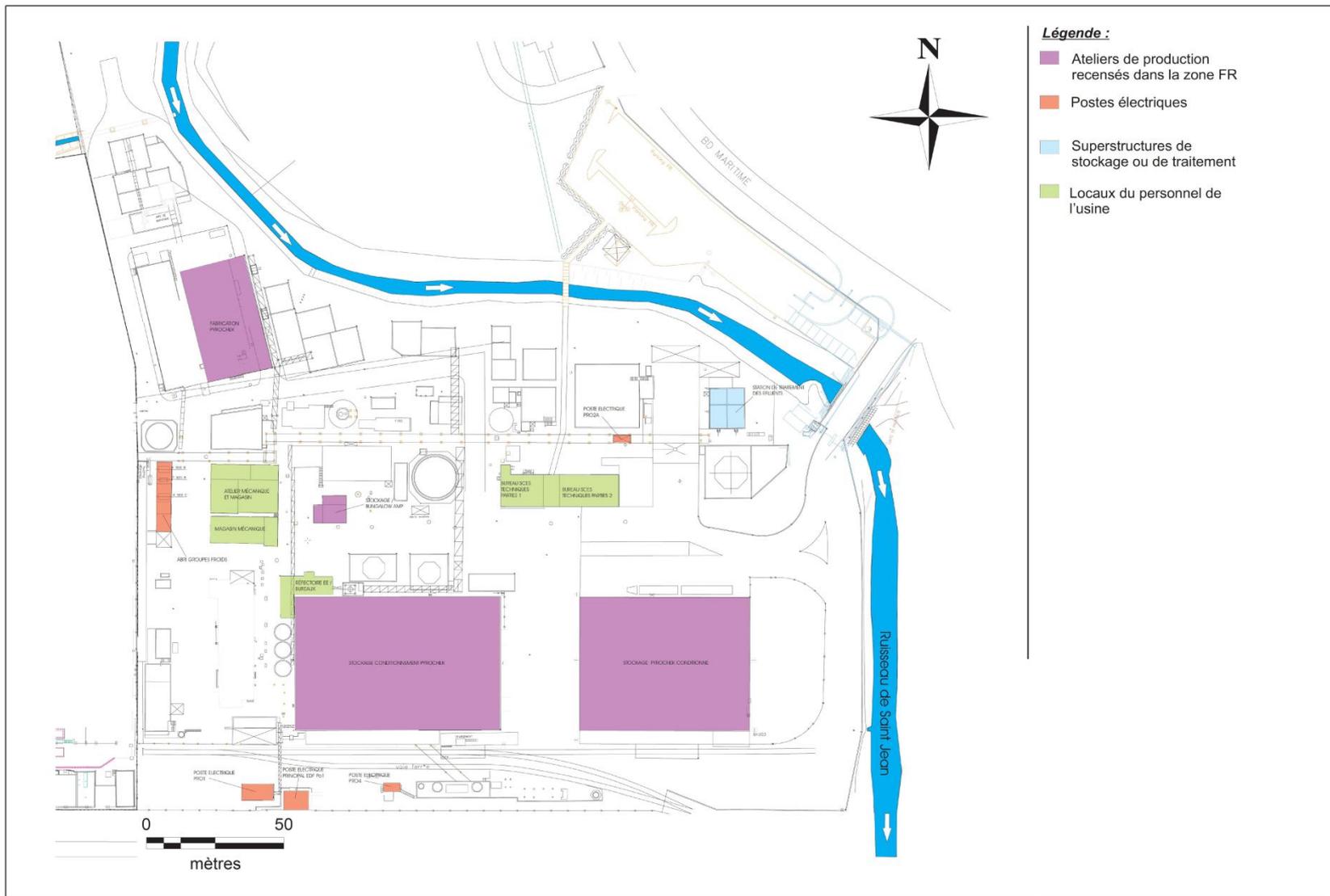
A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 3:**  
**Activités exercées sur la zone FC**



A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	

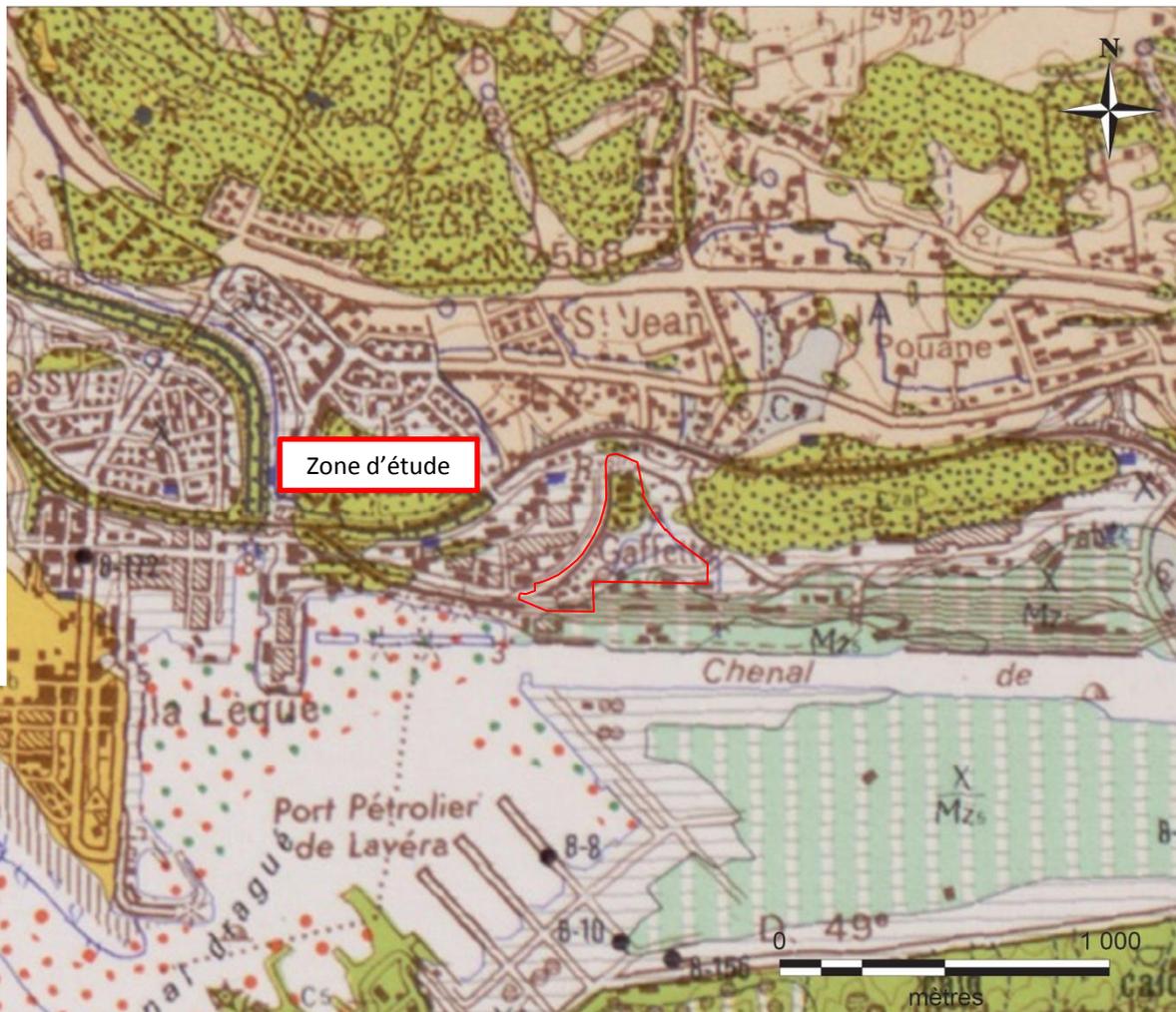


**Figure 4:**  
**Activités exercées sur la zone FR**

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	

## Légende

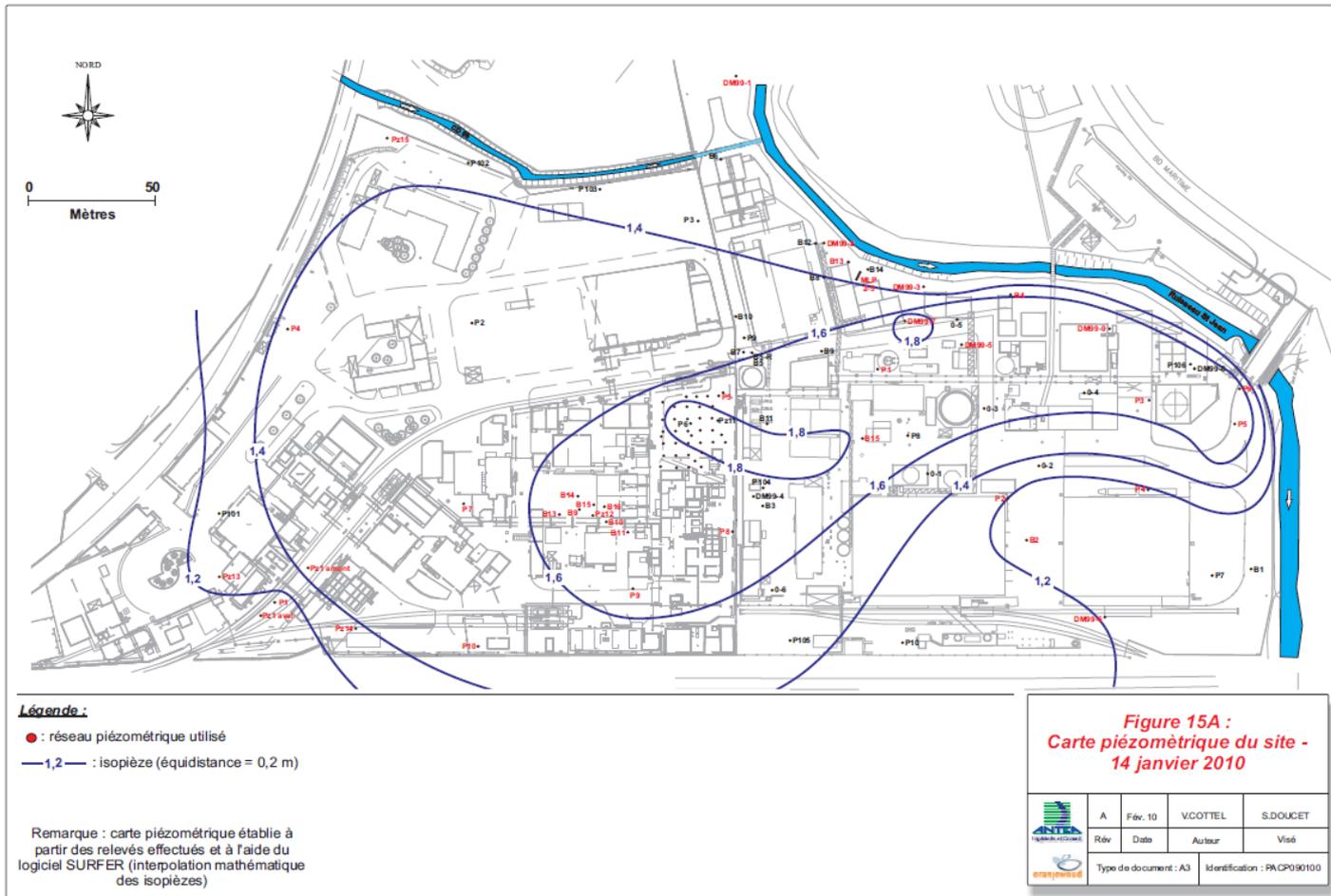
-  Remblais
-  Remblais sur dépôts limoneux marins
-  Remblais (matériaux bégudiens)
-  Dépôts limoneux marins (# Slikke)
-  Prédominance de limons d'origine colluviale
-  Complexes colluviaux indifférenciés
-  Burdigalien : calcarénite blanche
-  Bégudien : alternance d'argilites et de poudingues
-  Bégudien : alternance d'argilites et de grès
-  Santonien : calcaires et marnes
-  Vases sableuses (75 à 50 % de fraction fine)
-  Sables vaseux (50 à 25 % de fraction fine)
-  Sables (25 à 5 % de fraction fine)
-  Sables (< 5 % de fraction fine)
-  Substrat rocheux indifférencié submergé
-  Herbiers de Posidonies
-  Réseau hydrologique



**Figure 5:**  
**Contexte géologique de la zone d'étude**

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	

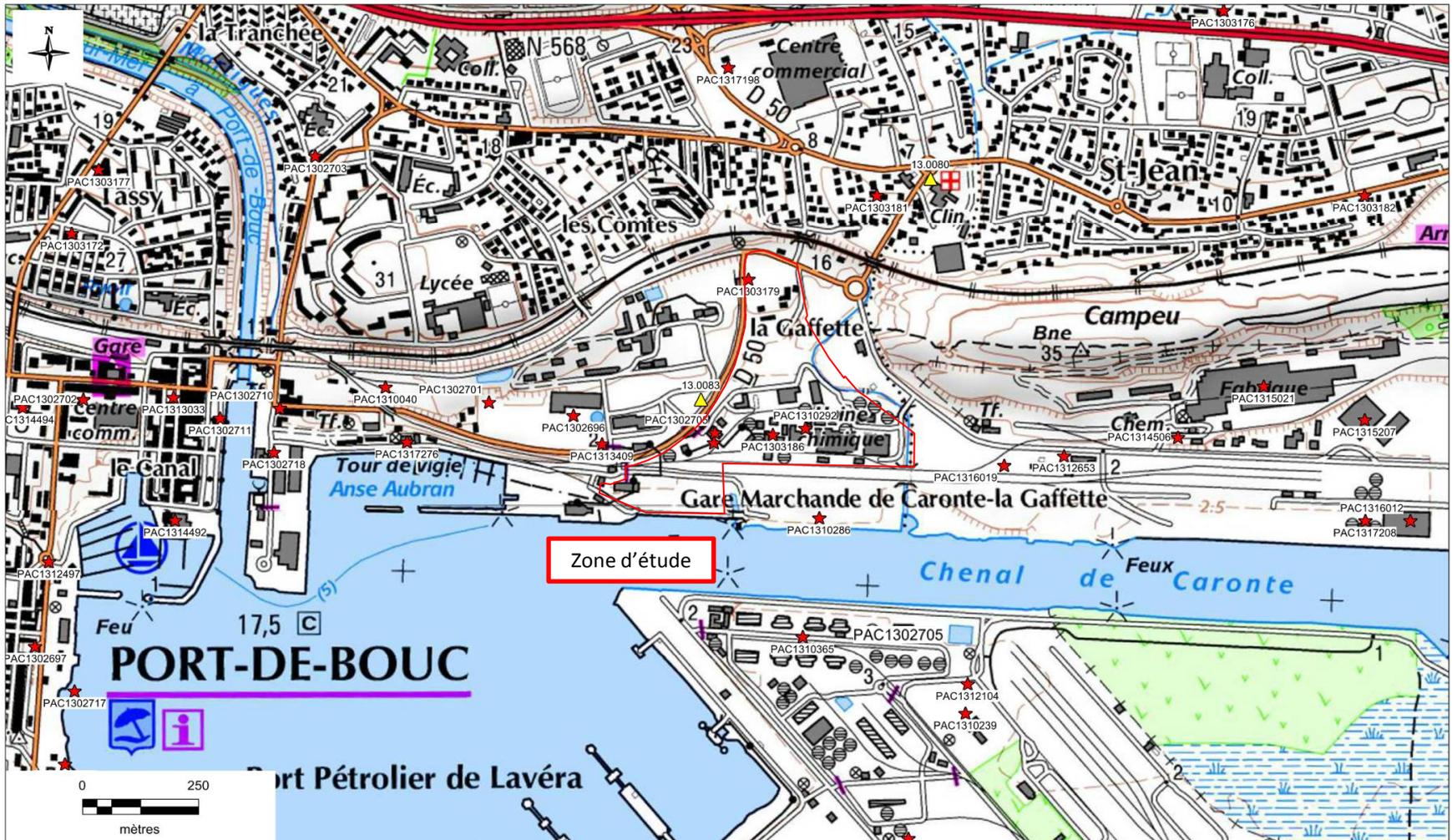






**Figure 8:**  
**Carte de localisation des points d'eau à moins de 1km du site**

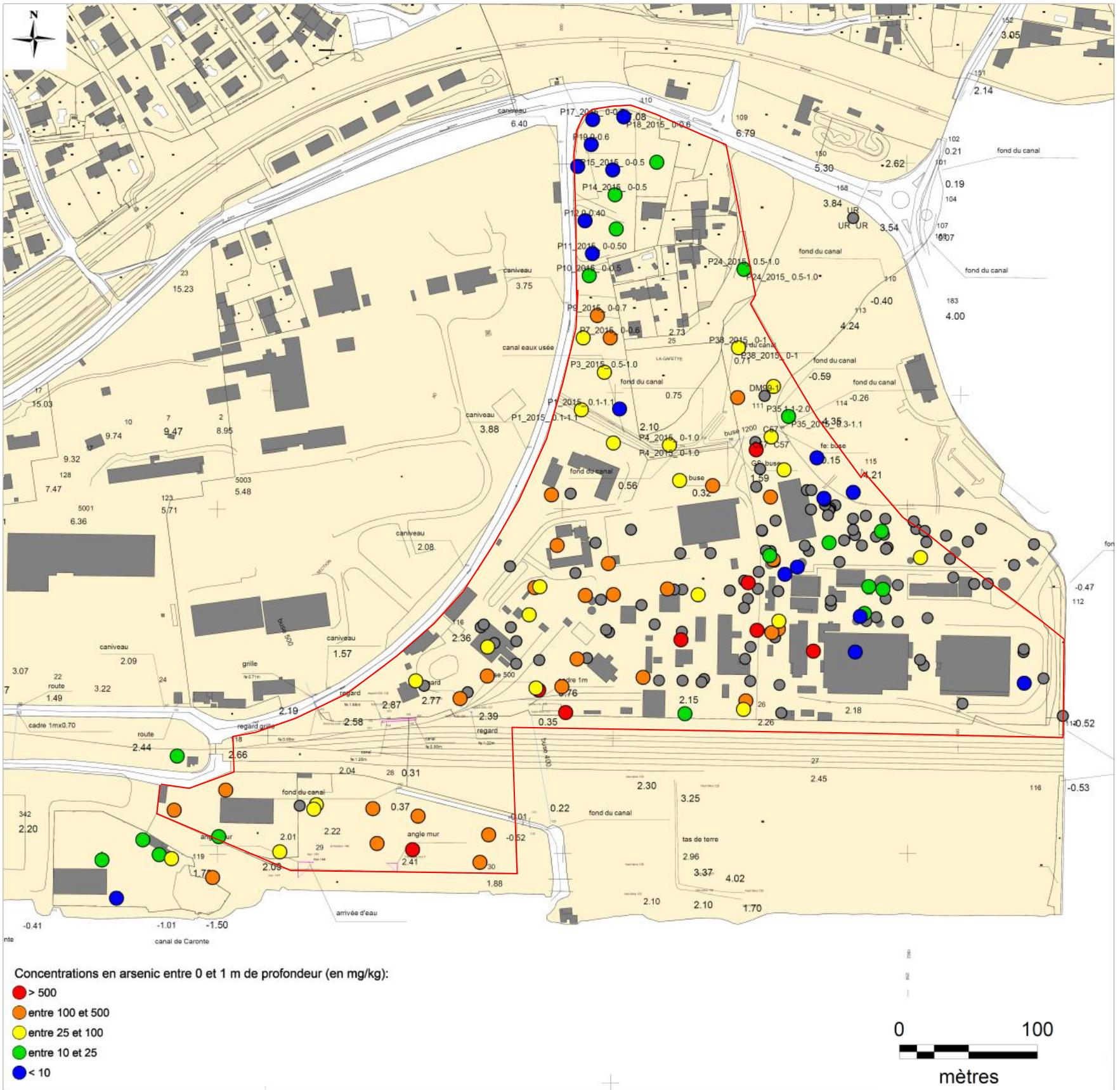
A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 9:**  
**Inventaire des sites BASIAS et BASOL à proximité de la zone d'étude (500m de rayon)**

A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	

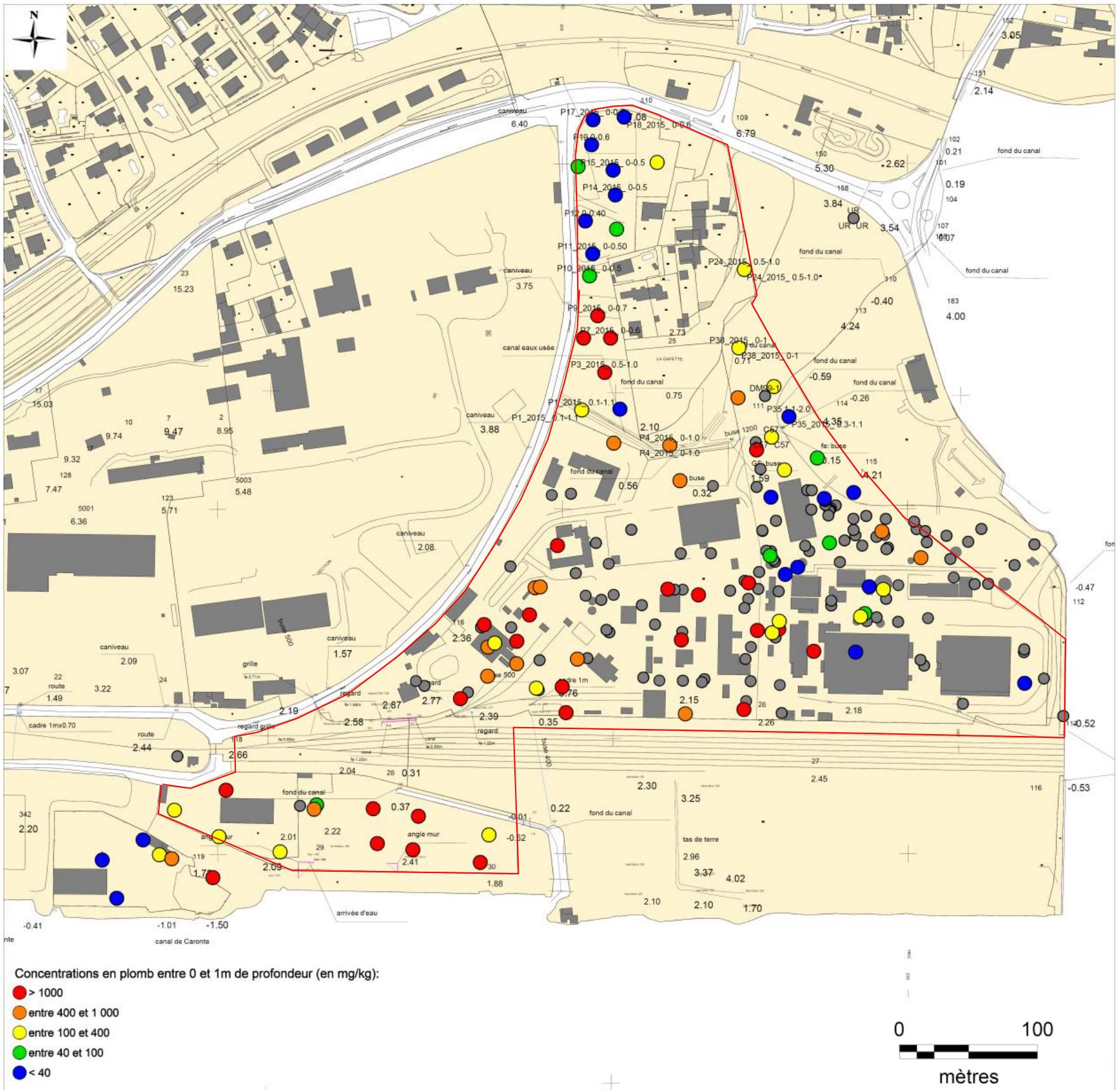




**Figure 10:**  
**Carte des impacts en arsenic entre 0 et 1m de profondeur**

A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	

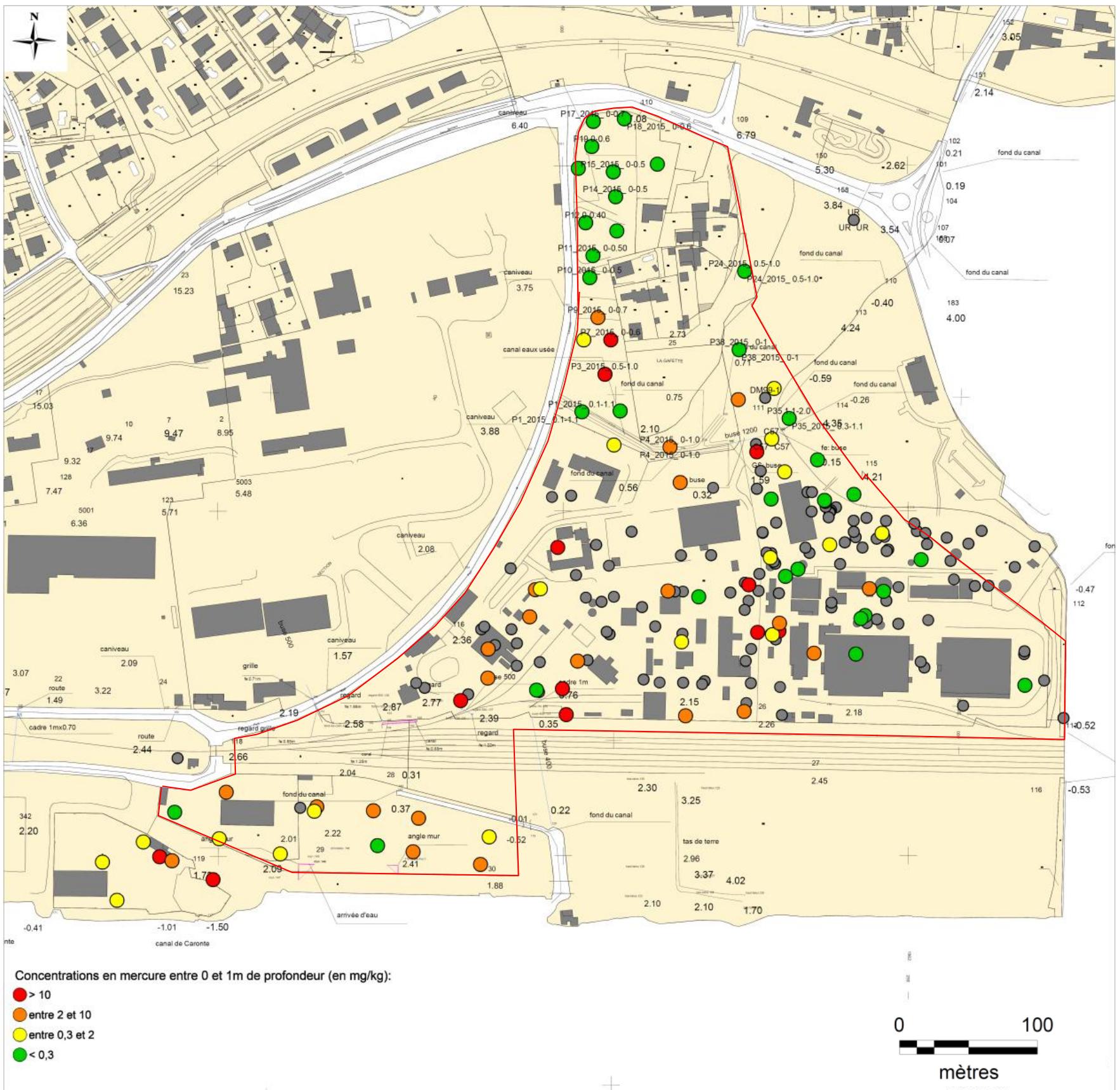




**Figure 11:**  
**Carte des impacts en plomb entre 0 et 1m**  
**de profondeur**



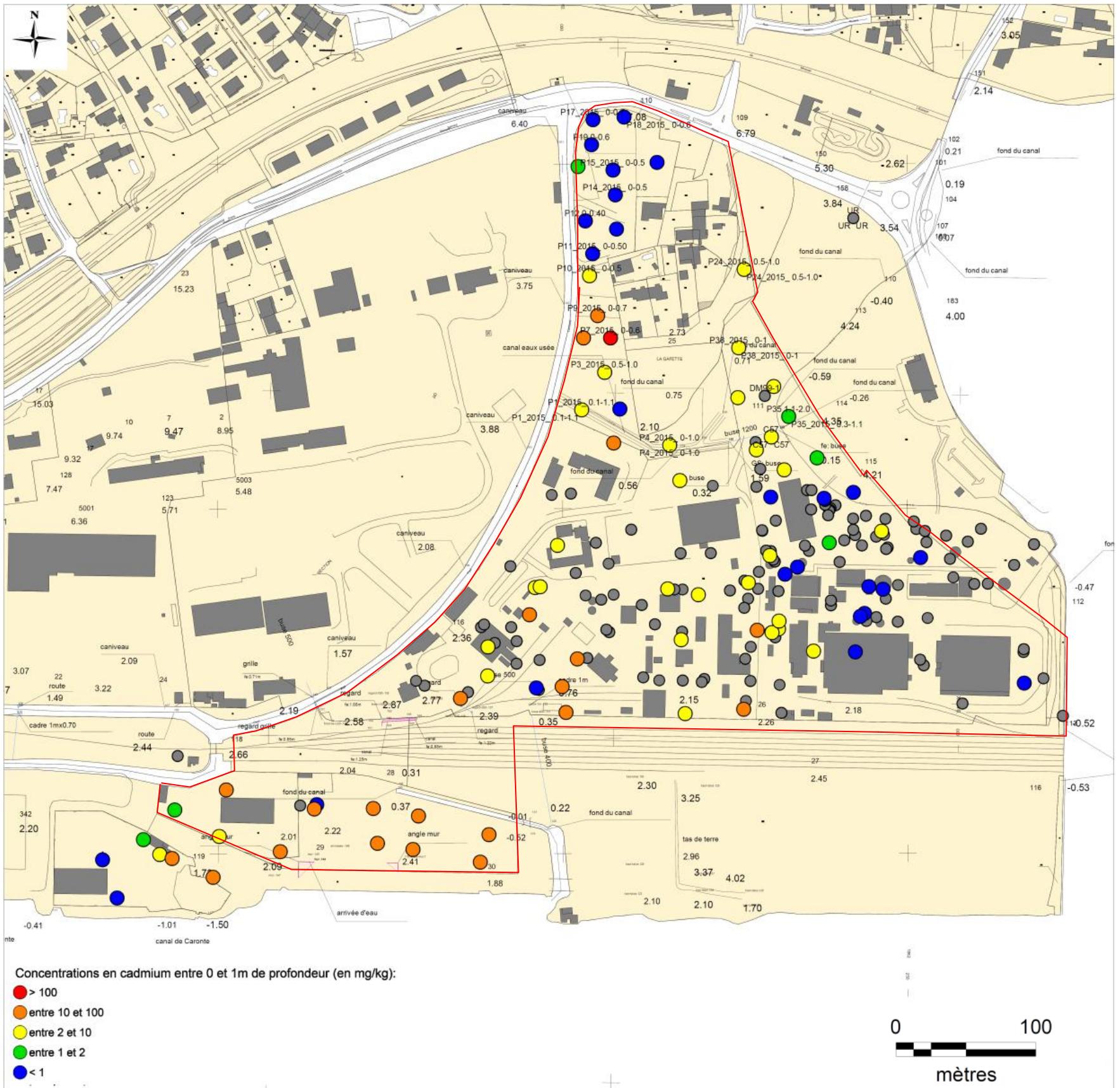
A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 12:**  
**Carte des impacts en mercure entre 0 et 1m de profondeur**



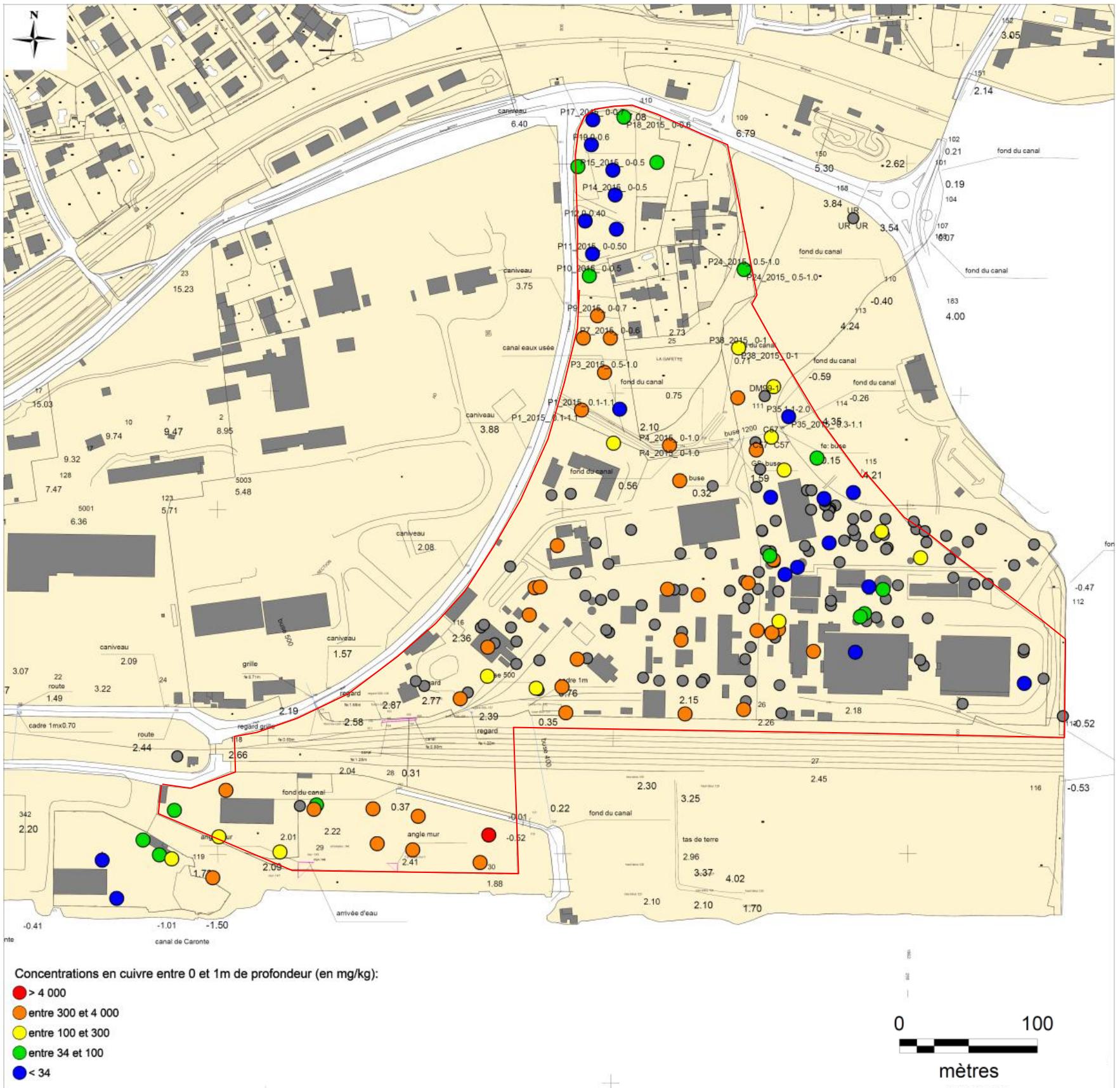
A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 13:**  
**Carte des impacts en cadmium entre 0 et 1m de profondeur**

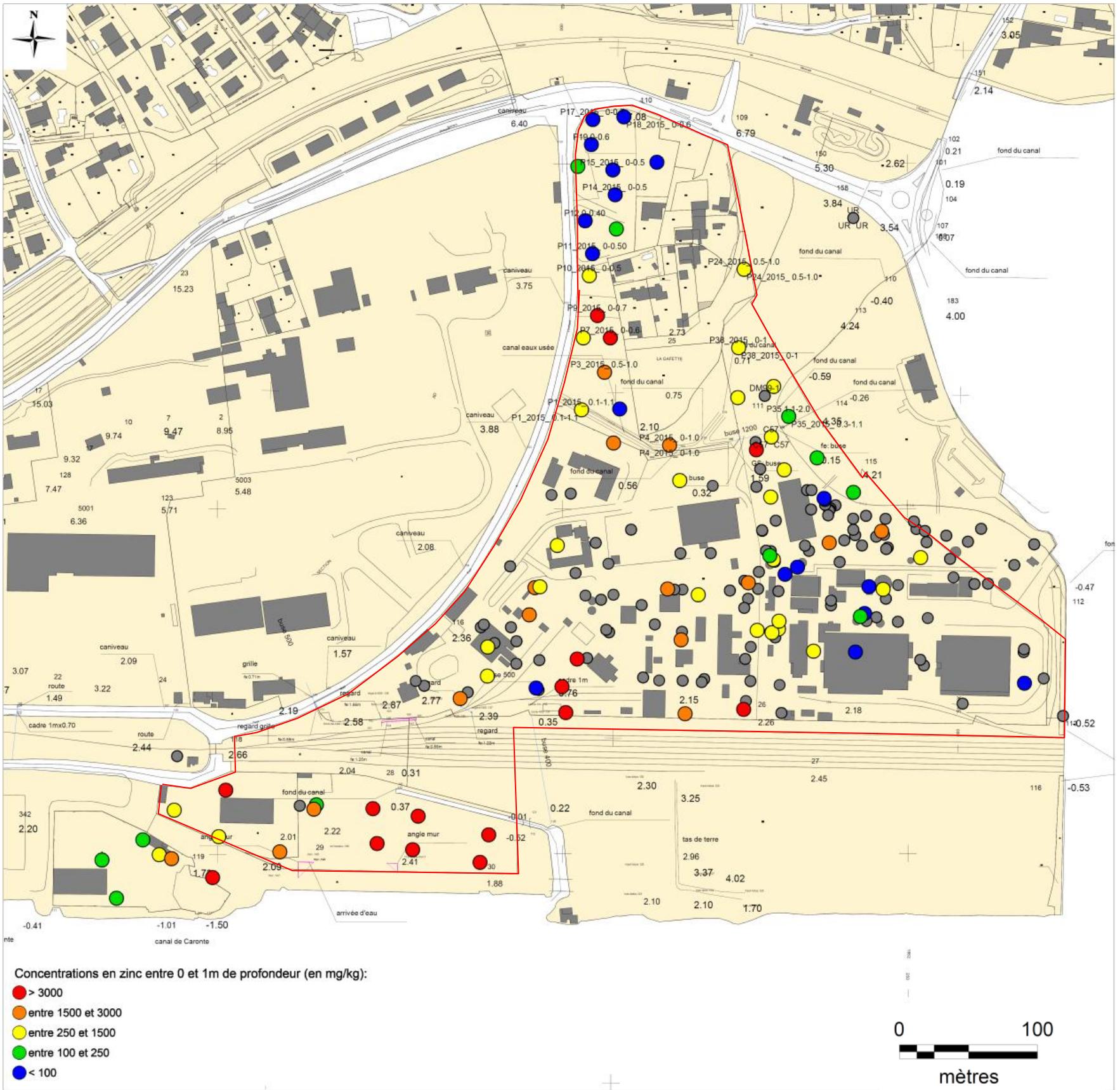


A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



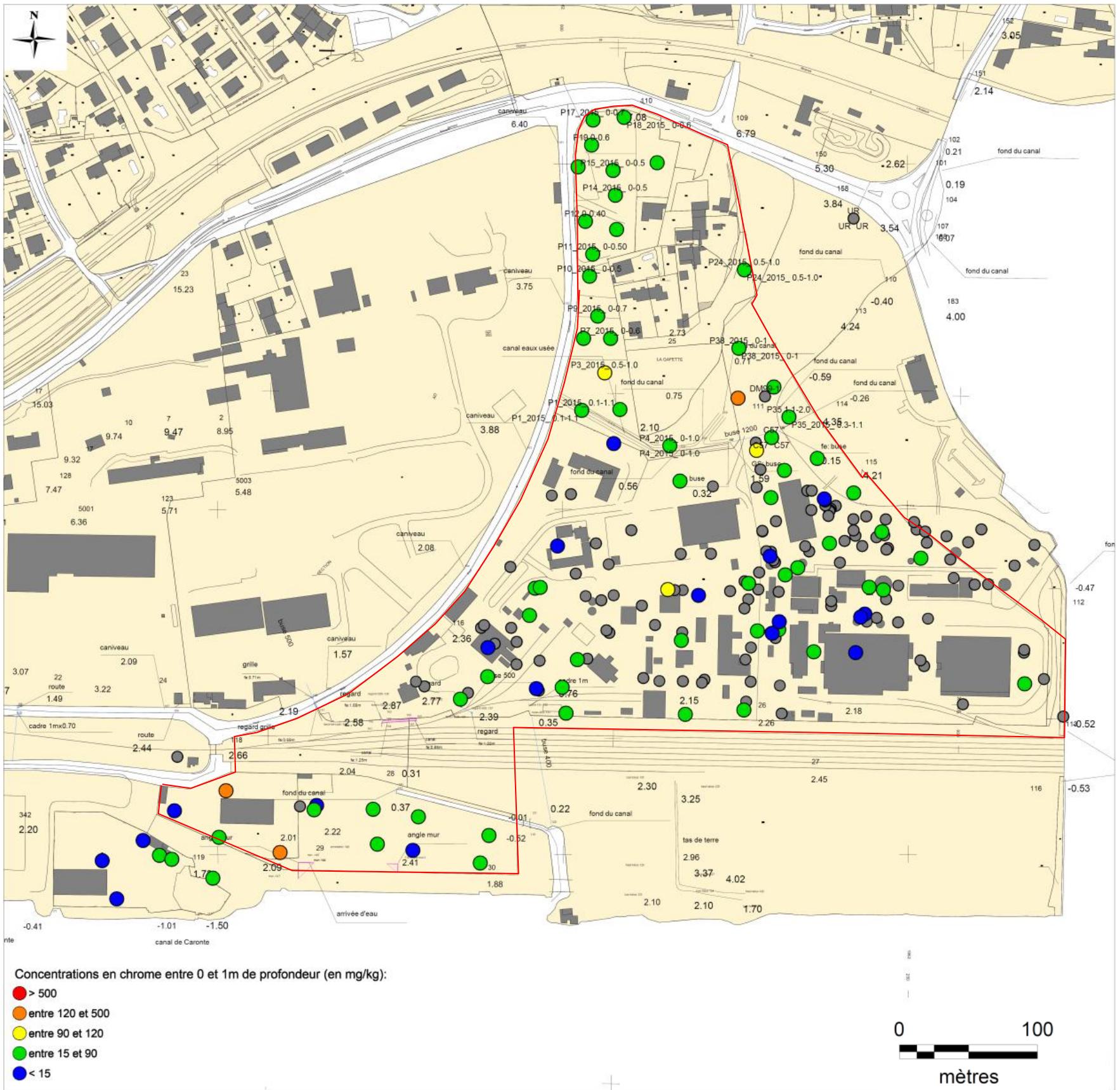
**Figure 14:**  
**Carte des impacts en cuivre entre 0 et 1m  
de profondeur**

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



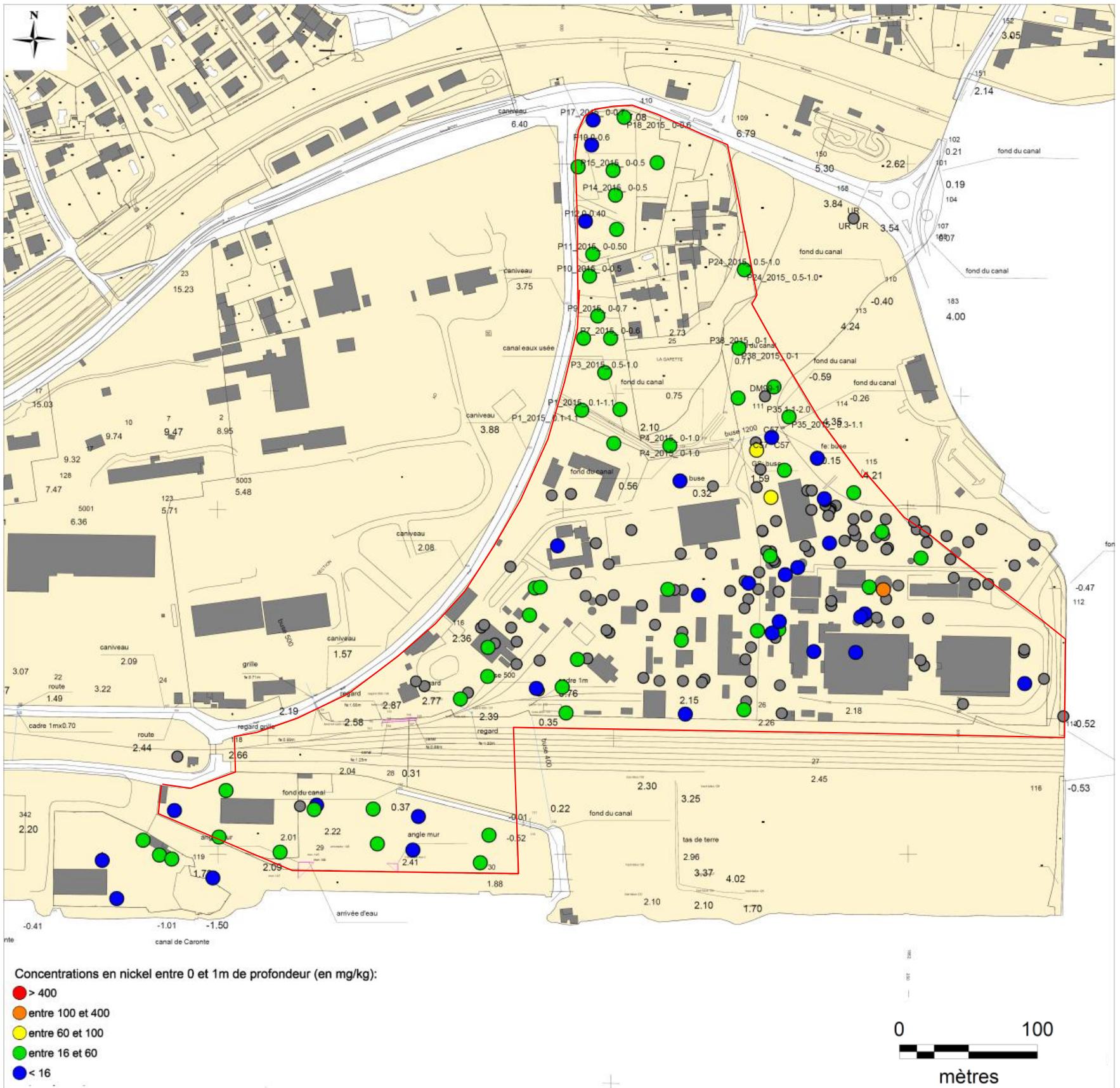
**Figure 15:**  
**Carte des impacts en zinc entre 0 et 1m  
de profondeur**

A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 16:**  
**Carte des impacts en chrome entre 0 et 1m de profondeur**

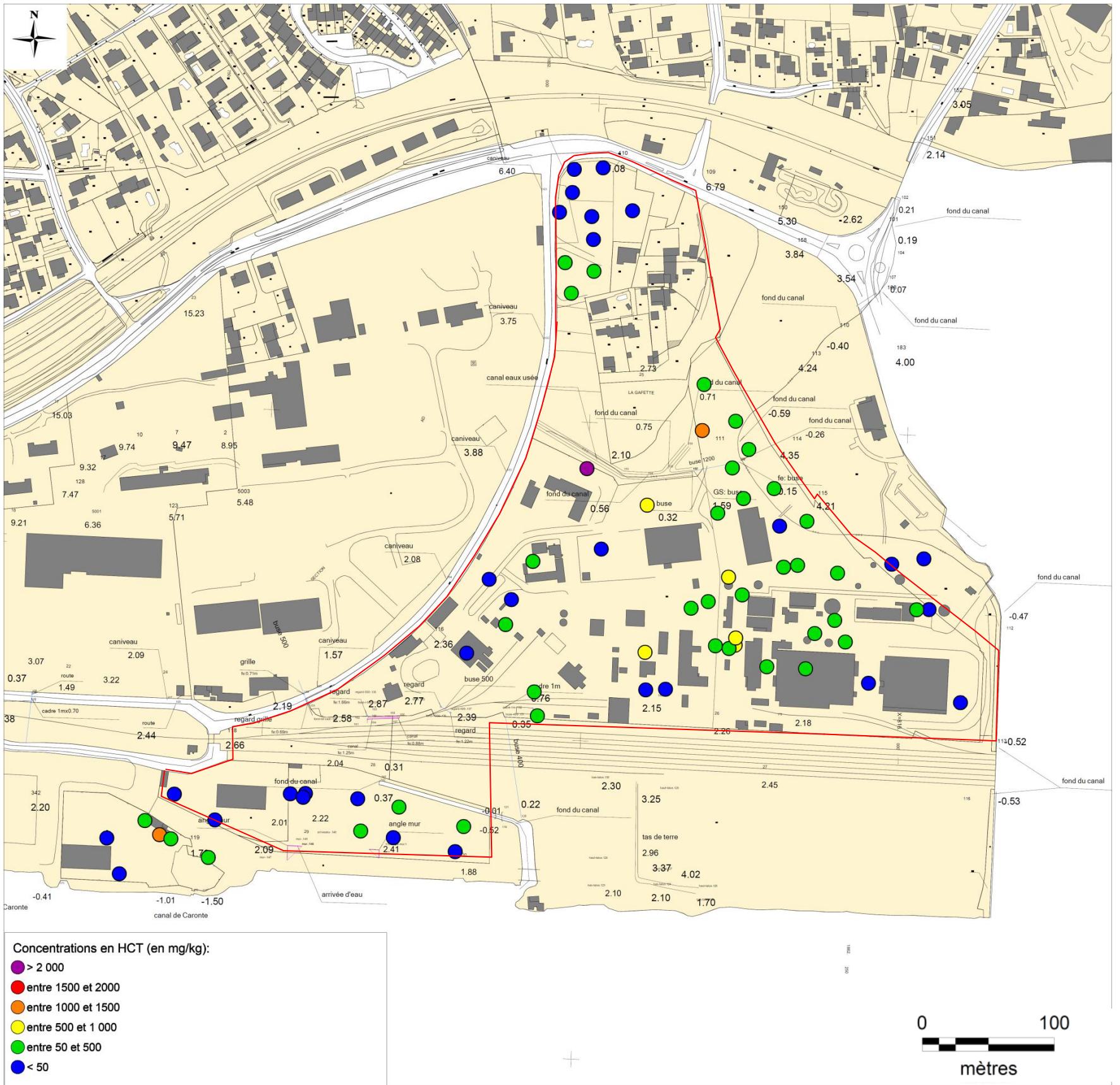
A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 17:**  
**Carte des impacts en nickel entre 0 et 1m  
de profondeur**

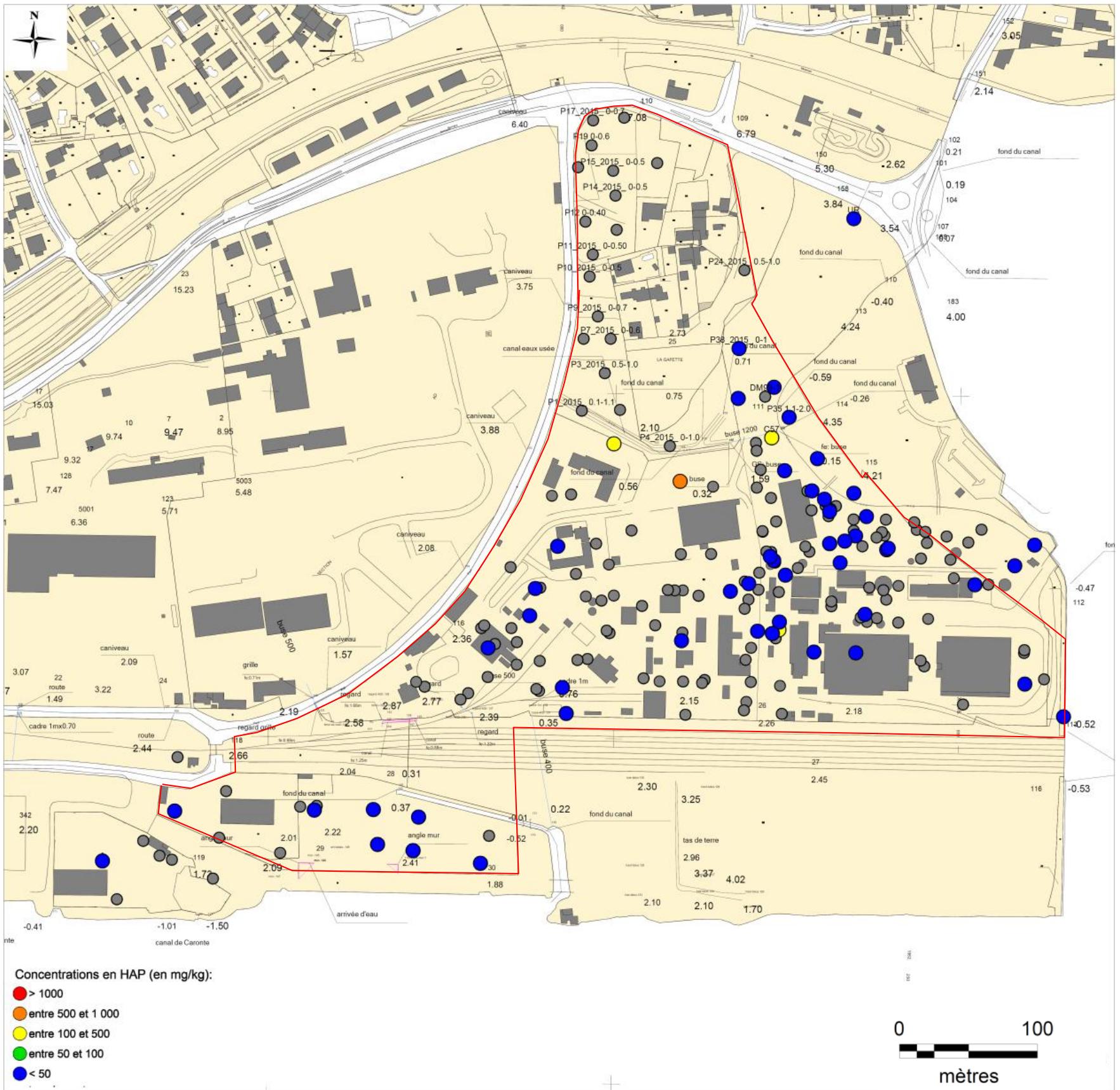


A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 18:**  
**Carte des impacts en hydrocarbures**

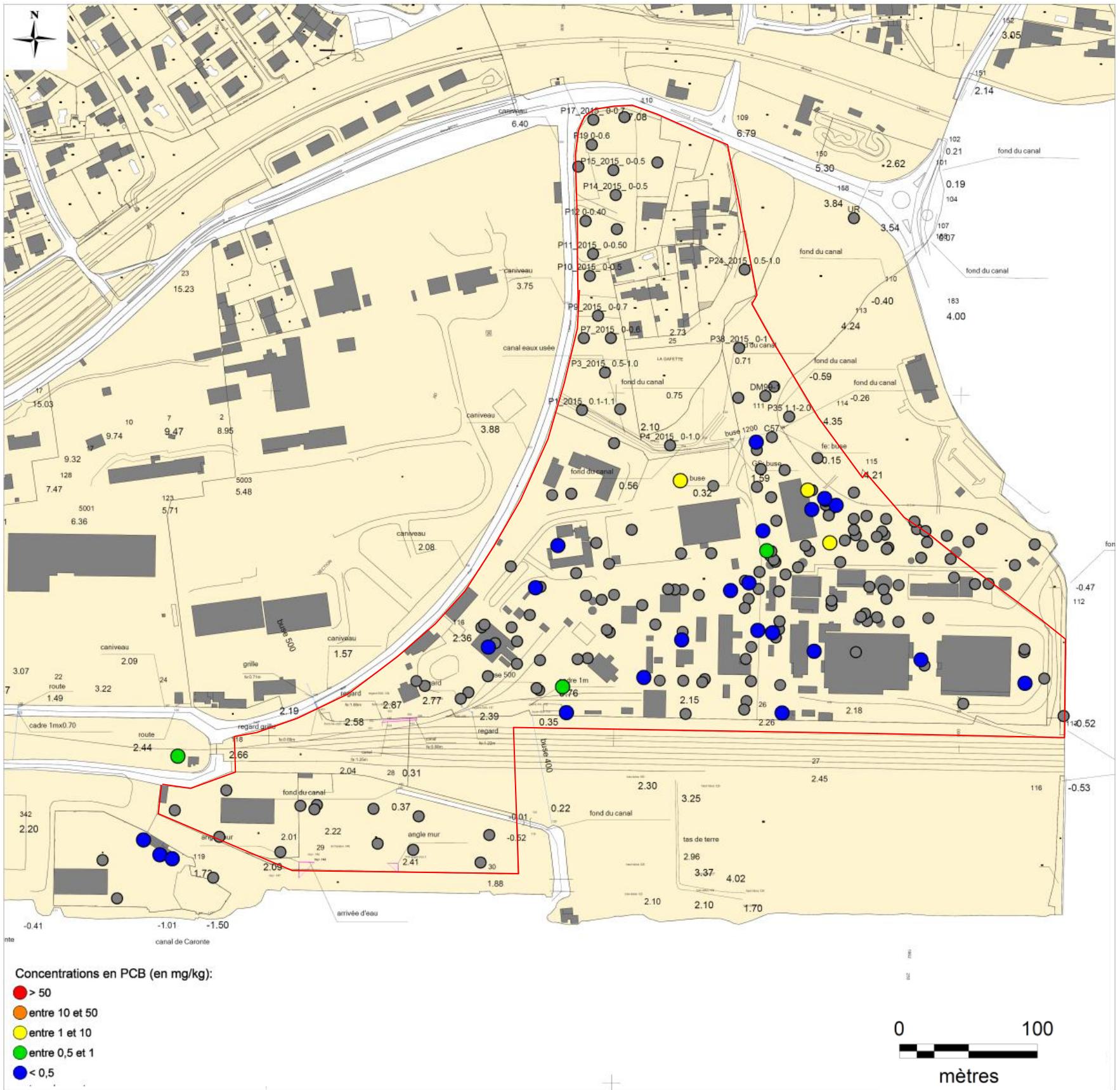
A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 19:**  
**Carte des impacts en HAP**



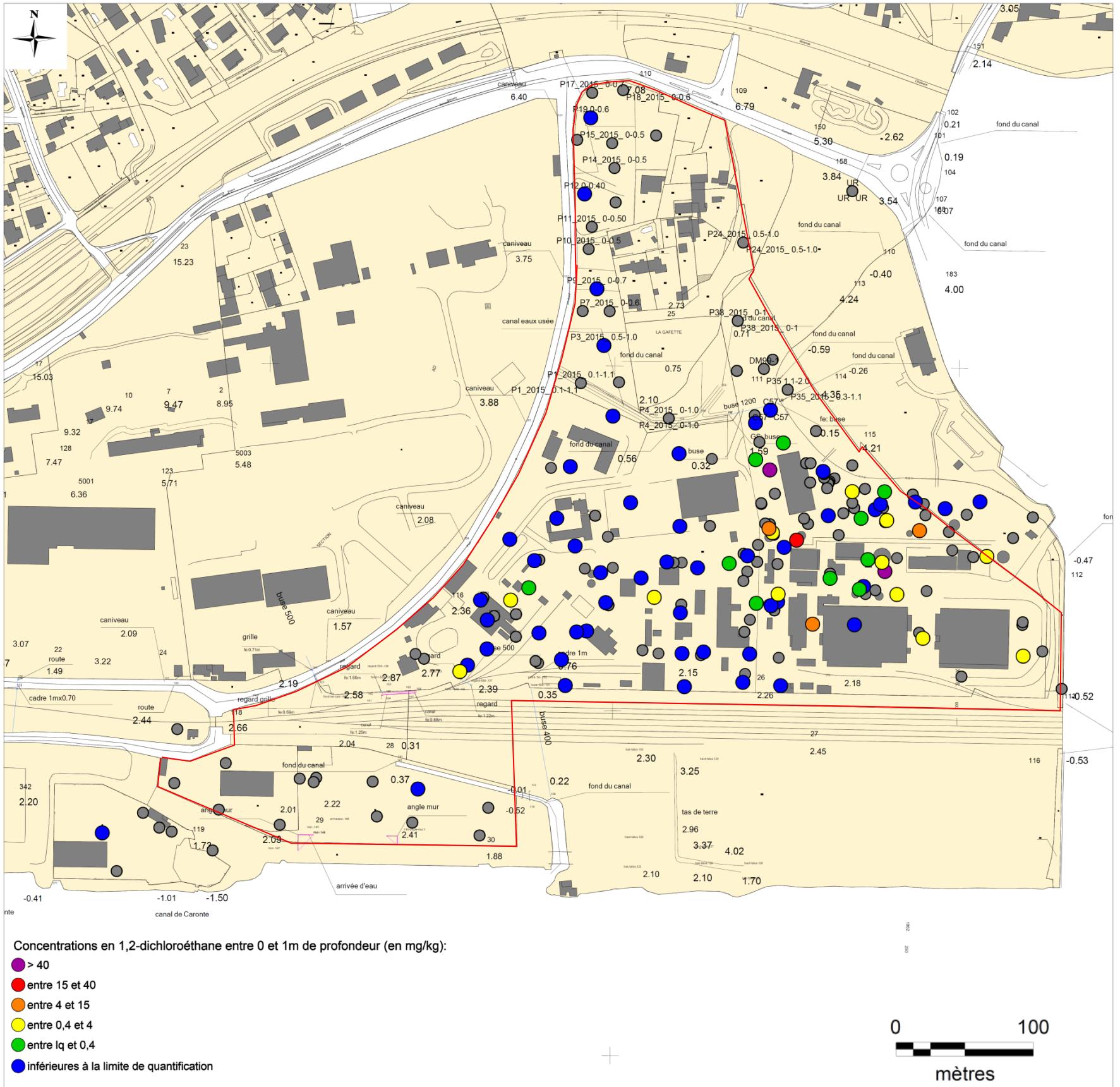
A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 20:**  
**Carte des impacts en PCB**



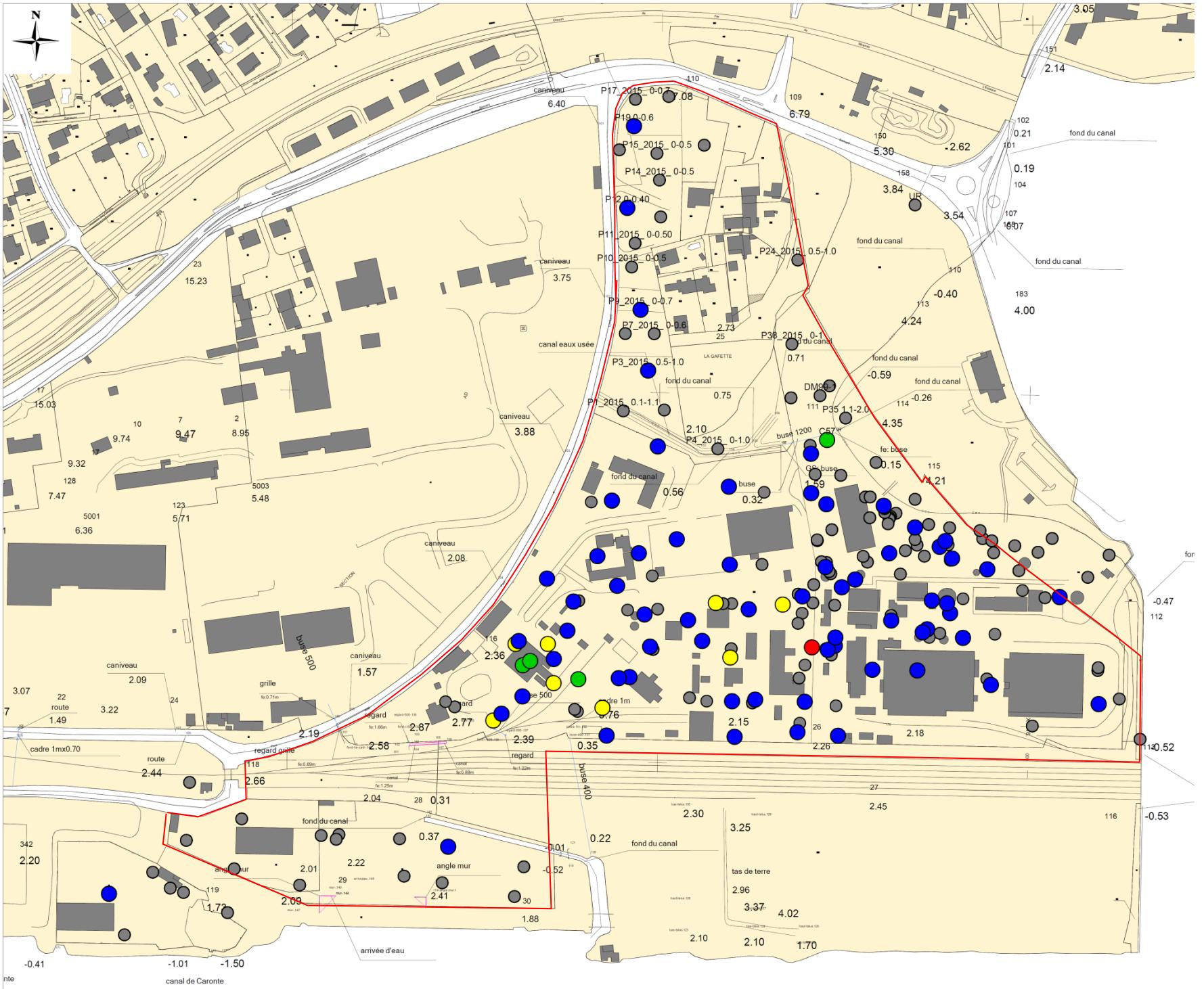
A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 21:**  
**Carte des impacts en 1,2-dichloroéthane**

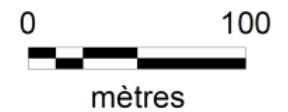
A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	





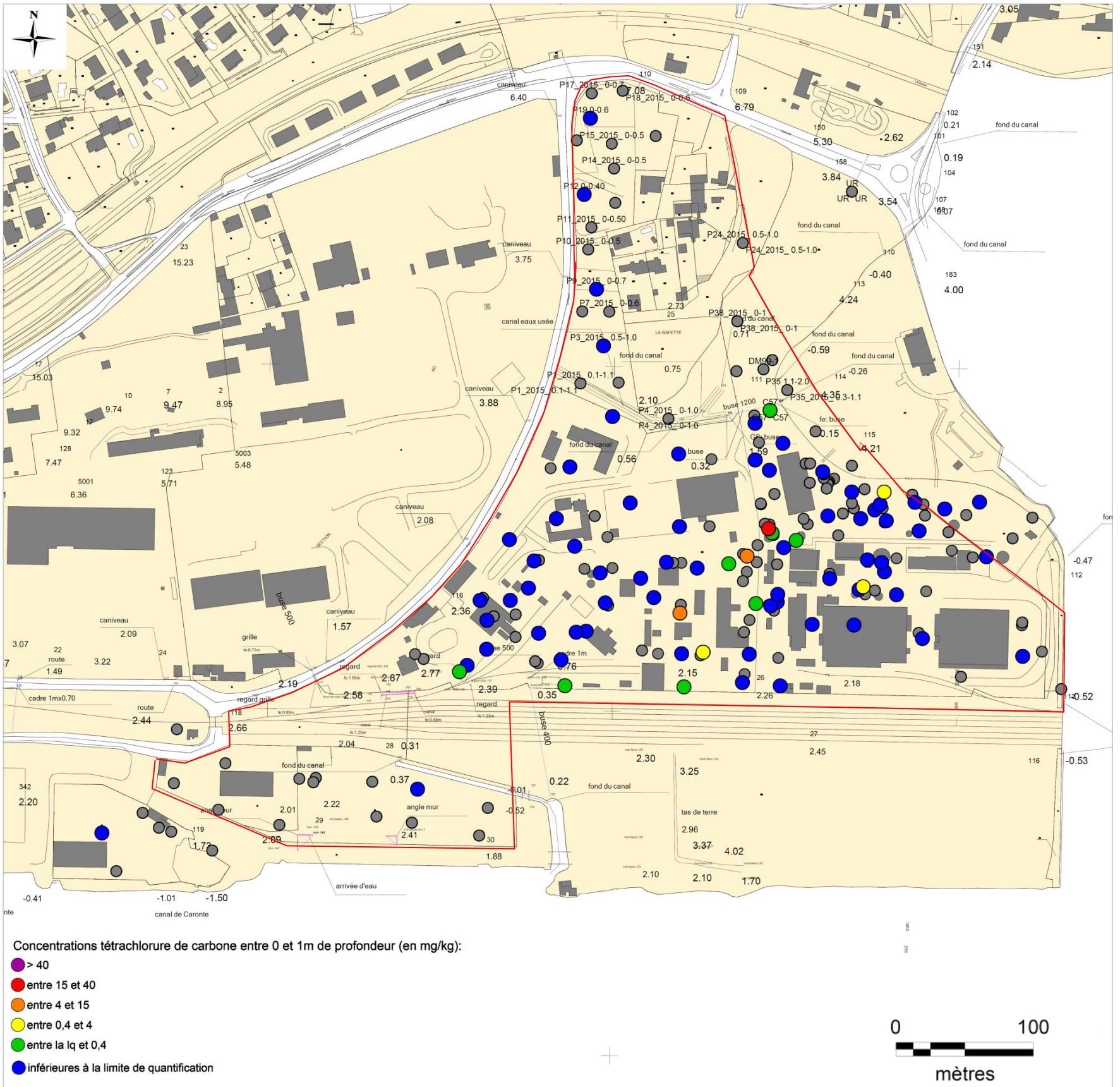
Concentrations en 1,2-dibromoéthane entre 0 et 1m de profondeur (en mg/kg):

- > 40
- entre 15 et 40
- entre 4 et 15
- entre 0,4 et 4
- entre la lq et 0,4
- inférieures à la limite de quantification



**Figure 22:**  
**Carte des impacts en 1,2-dibromoéthane**

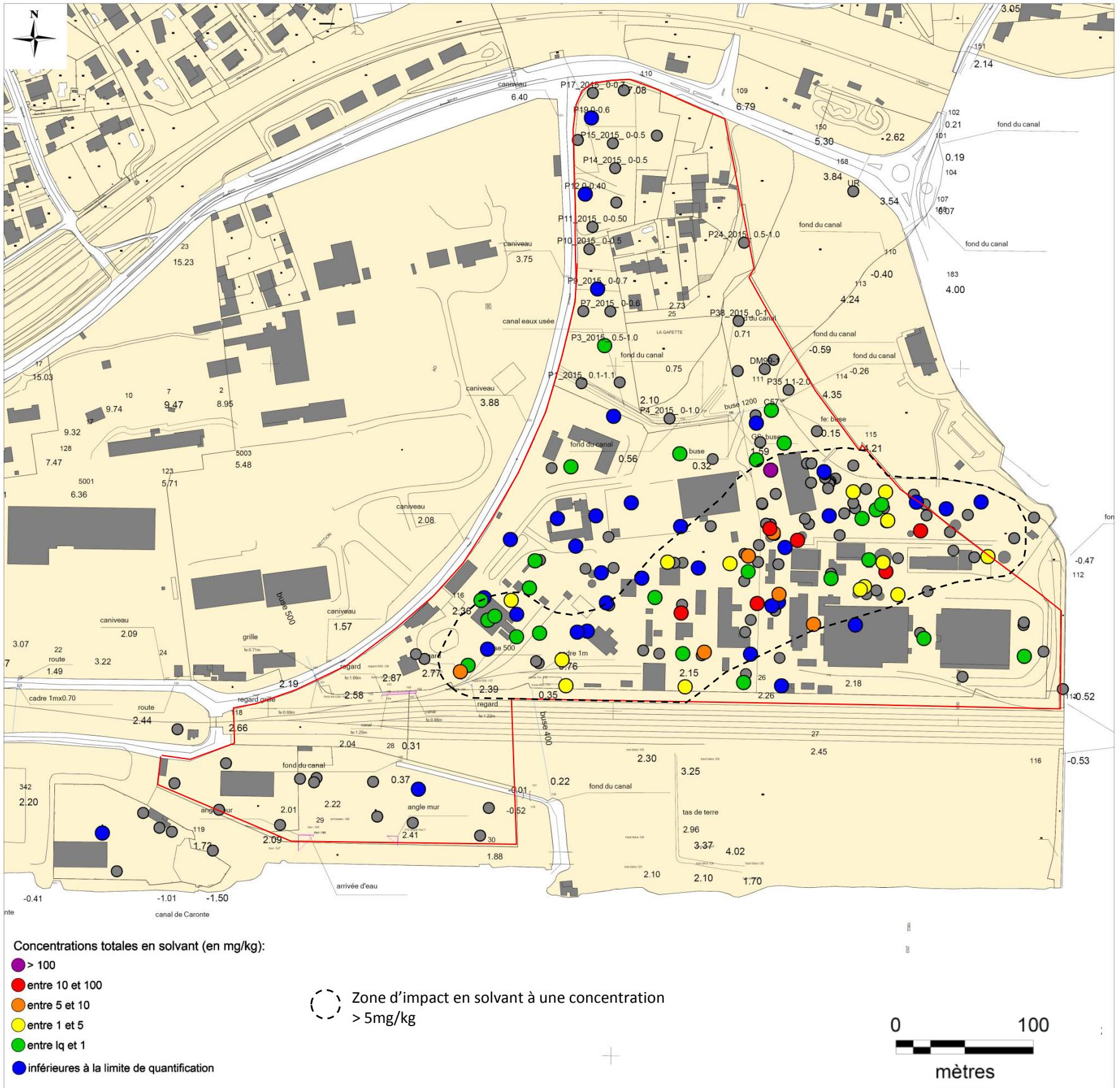
A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 23:**  
**Carte des impacts en tétrachlorure de carbone**

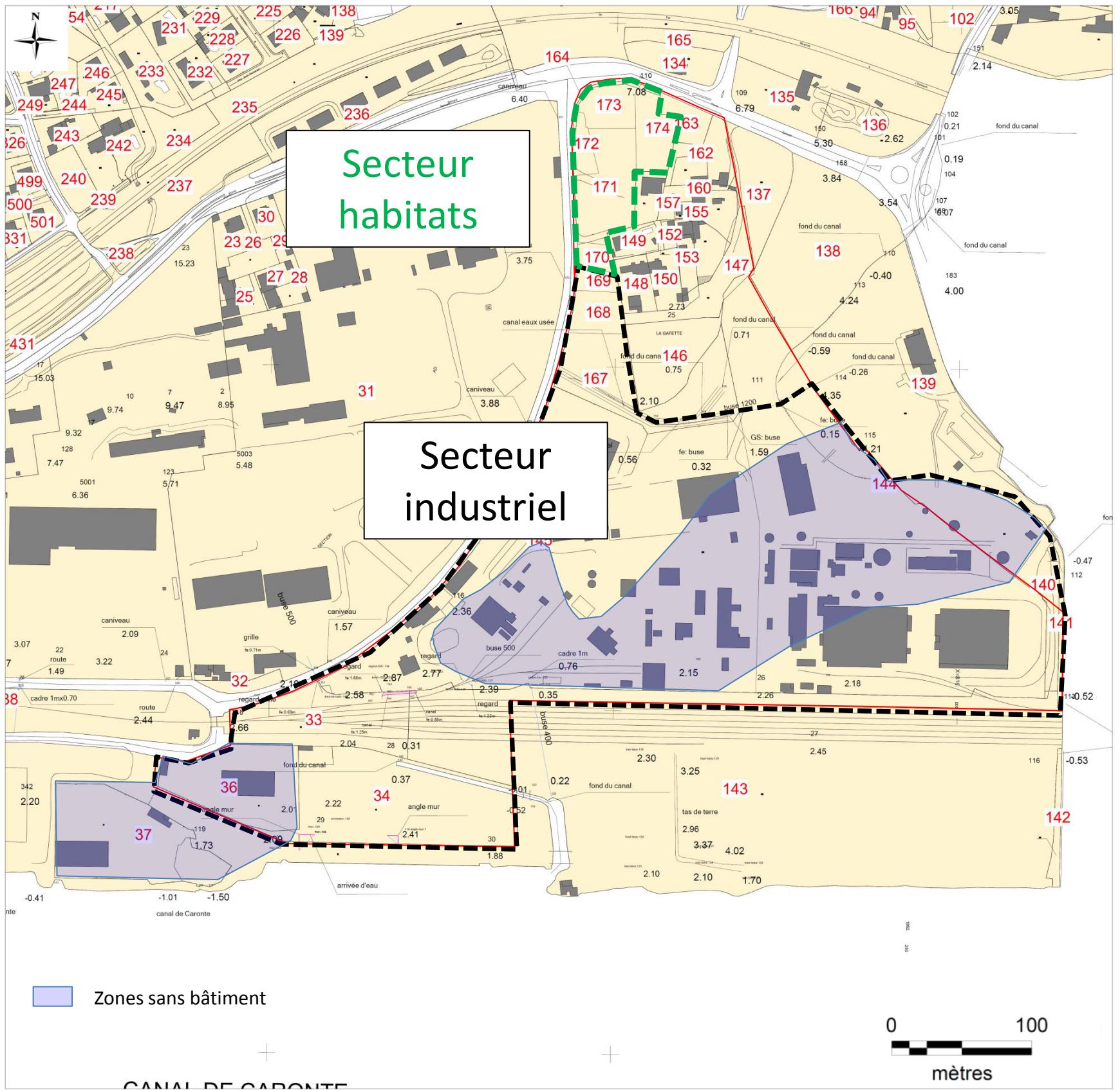


A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 24:**  
**Carte des impacts en solvant**

A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	



**Figure 25:**  
**Concepts de réaménagement de la zone d'étude**

A	Jun 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A4		Identification: PACP1400124	

## **Annexes**

## **Annexe 1 :**

### **Grille de codification – Référentiel LNE**

(1 page)

### Codification des prestations

#### Domaine A : Etudes, assistance et Contrôles

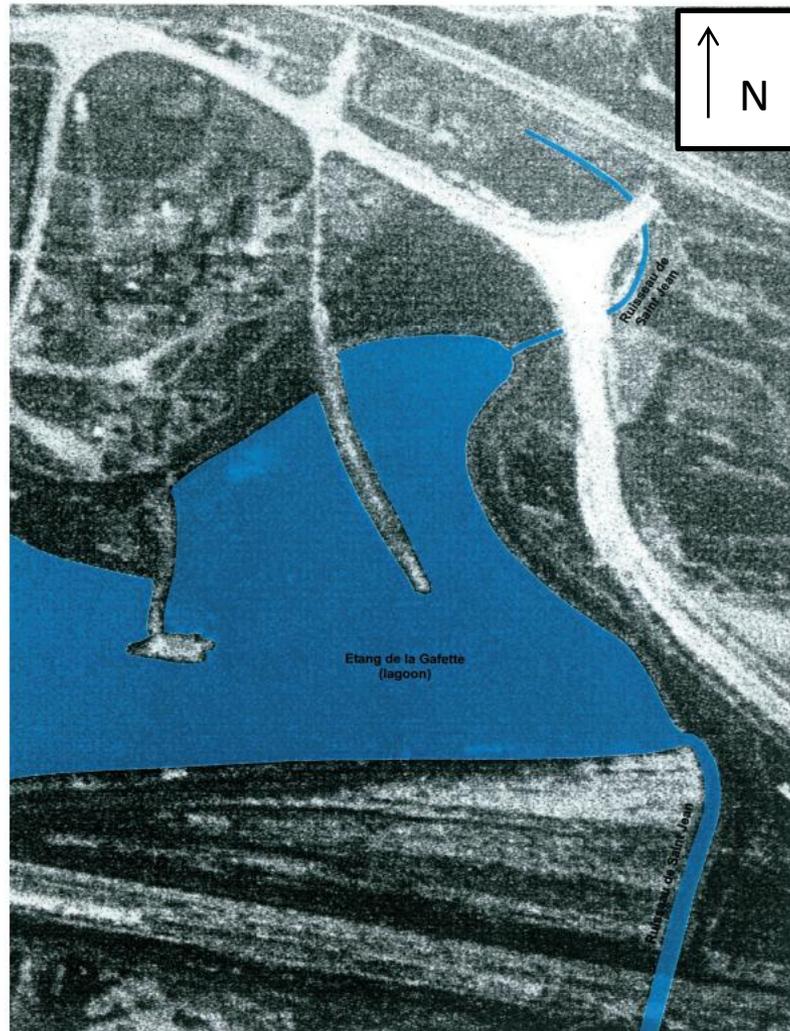
#### Domaine B : Ingénierie des Travaux de Réhabilitation

Code		Prestation(s) Antea Group	Code	Prestation	Prestation(s) Antea Group
<b>DOMAINE A</b>					
<b>Offres globales prestations</b>			<b>Evaluation des impacts sur les enjeux à protéger</b>		
<b>AMO</b>	Assistance Maîtrise Ouvrage		A300	Analyses des enjeux sur les ressources en eaux	
<b>LEVE</b>	Levée de doute pour savoir si un site relève ou non de la méthode		A310	Analyses des enjeux sur les ressources environnementales	
<b>EVAL</b>	Audit environnemental sols et eaux lors vente/acquisition		A320	Analyses des enjeux sanitaires	
<b>CPIS</b>	Conception programme investigations et surveillance, suivi, interprétation, schéma concept, bilan quadriennal		A330	Réalisation du bilan coûts/avantages, identification des différentes options possibles	
<b>PG</b>	Plan de Gestion	X	<b>Autres compétences</b>		
<b>IEM</b>	Interprétation de l'Etat des Milieux		A400	Dossiers de restriction d'usage, servitudes	
<b>CONT</b>	Contrôles mise en œuvre investigations - surveillance ou mesures gestion				
<b>XPER</b>	Expertise domaine SSP				
<b>Diagnostic de l'état des milieux</b>			<b>DOMAINE B</b>		
A100	visite de site	X	<b>Prestations élémentaires</b>		
A110	Etudes historiques, documentaires et mémorielles	X	B001	AMO - Assistance à maîtrise d'ouvrage dans la phase des travaux	
A120	Etude de vulnérabilité des milieux	X	B100	Etudes de conception	
A200	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols		B110	Etudes de faisabilité technique et financière	
A210	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines		B111	Essais de laboratoire	
A220	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux superficielles et/ou sédiments		B112	Essais pilote	
A230	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les gaz des sols		B120	AP - Etudes d'avant projet	
A240	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les denrées alimentaires		B130	PRO - Etudes de projet	
A250	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les terres excavées		B200	Etablissement des dossiers administratifs	
A260	Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur l'air ambiant et les poussières atmosphériques		B300	Maitrise d'œuvre en phase Travaux	
			B310	ACT - Assistance aux Contrats de Travaux	
			B320	DET - Direction de l'exécution des travaux	
			B330	AOR - Assistance aux opérations de réception	

## **Annexe 2 :**

Données historiques et documentaires

(20 pages)



Photographie aérienne : 1935  
 (extrait du Plan de gestion A57328 –  
 2010)

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



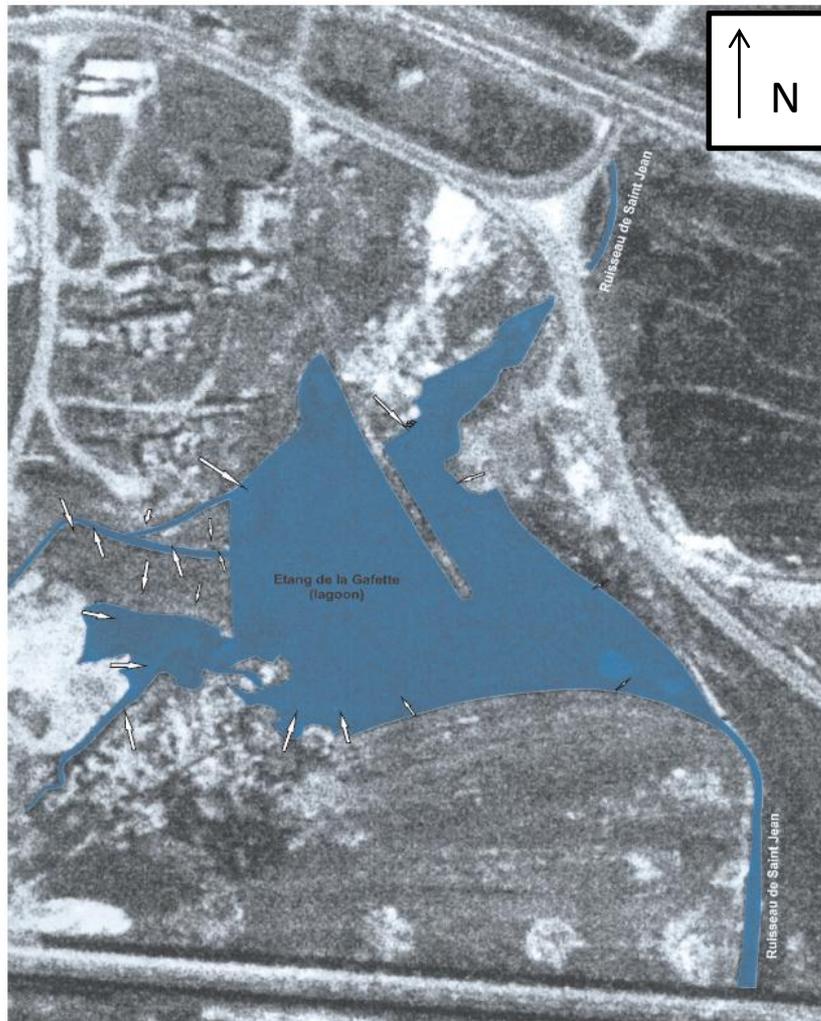
## Photographie aérienne : 1938

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



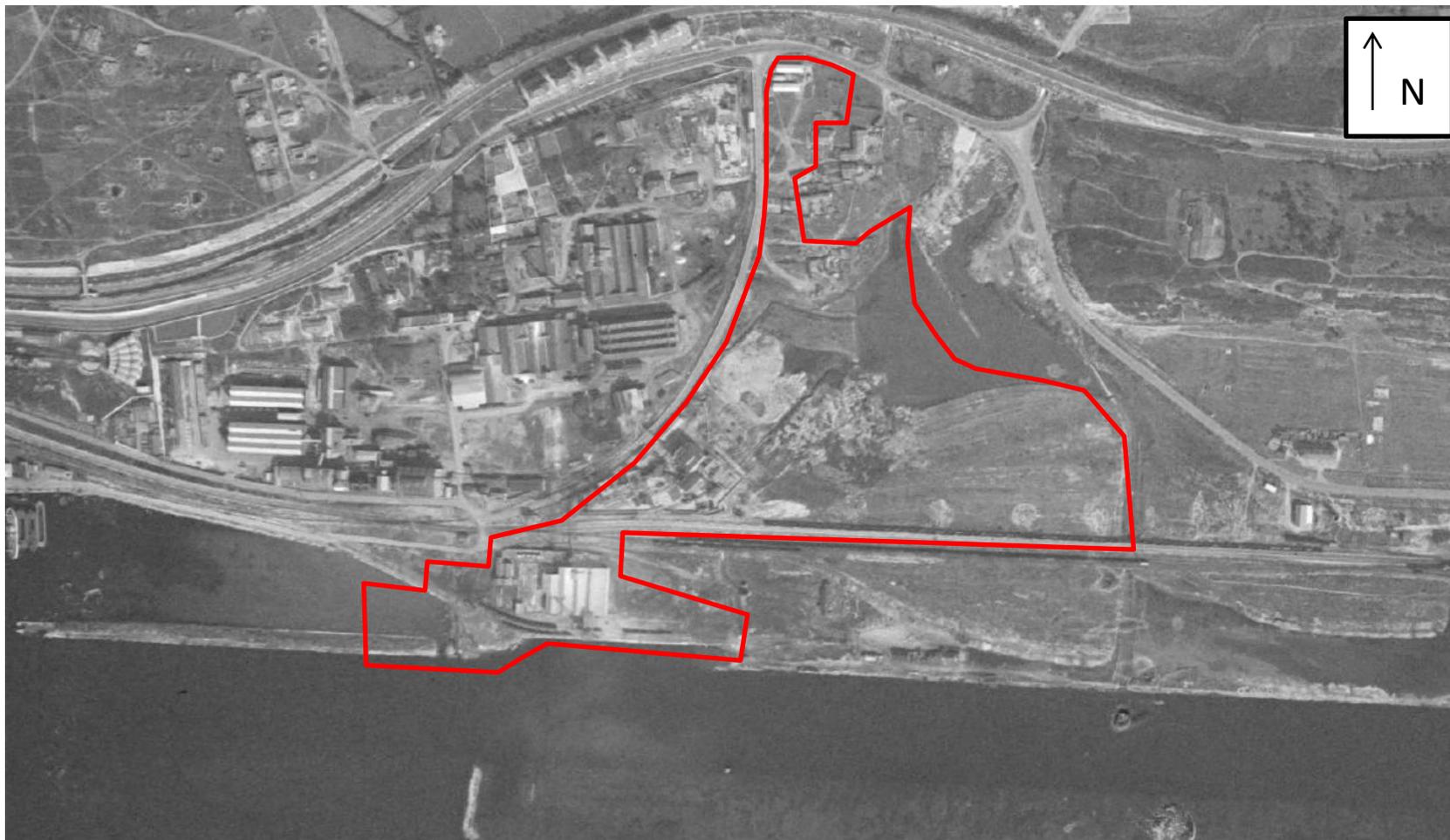
## Photographie aérienne : 1947

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



Photographie aérienne : 1955  
 (extrait du Plan de gestion A57328 –  
 2010)

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



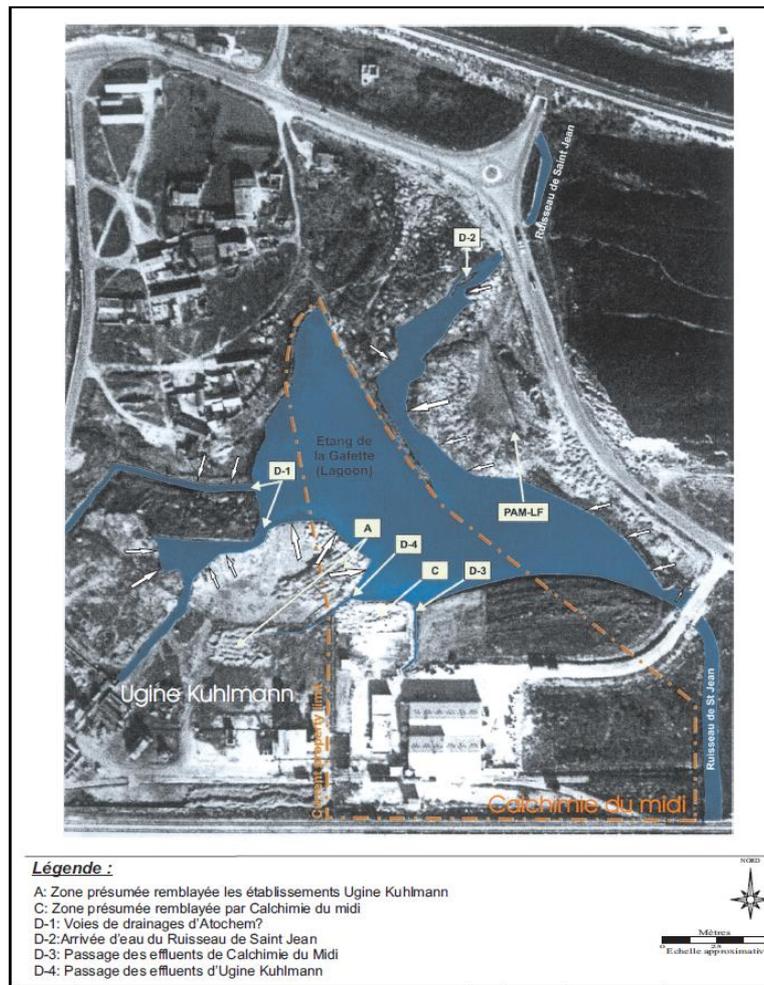
Photographie aérienne : 1955

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



Photographie aérienne : 1960

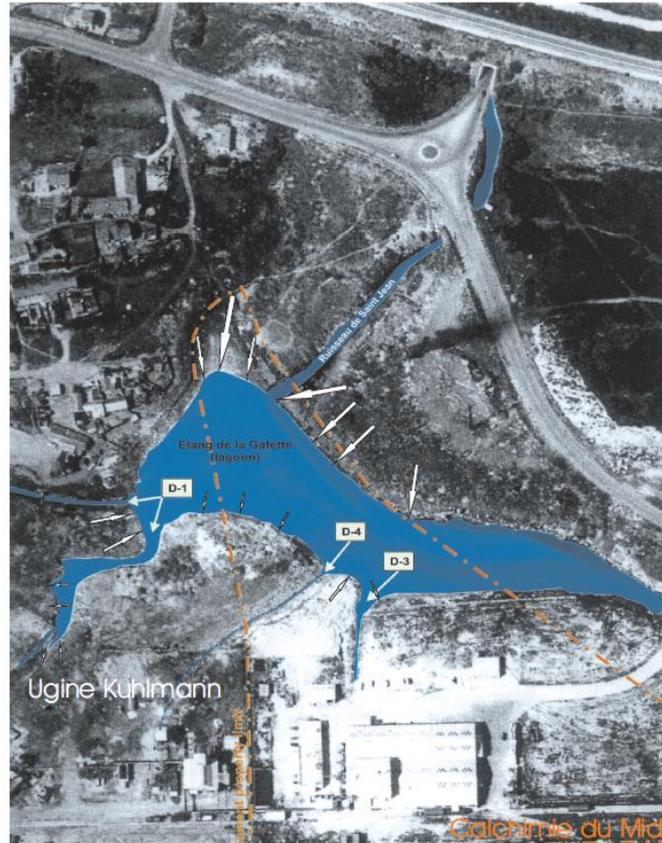
A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



**Photographie aérienne : 1963  
(extrait du Plan de gestion A57328 –  
2010)**

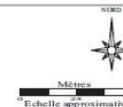


A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



**Légende :**

- D-1: Voies de drainages d'Ugine Kuhlmann?
- D-3: Passage des effluents de Calchimie du midi
- D-4: Passage des effluents d'Ugine Kuhlmann



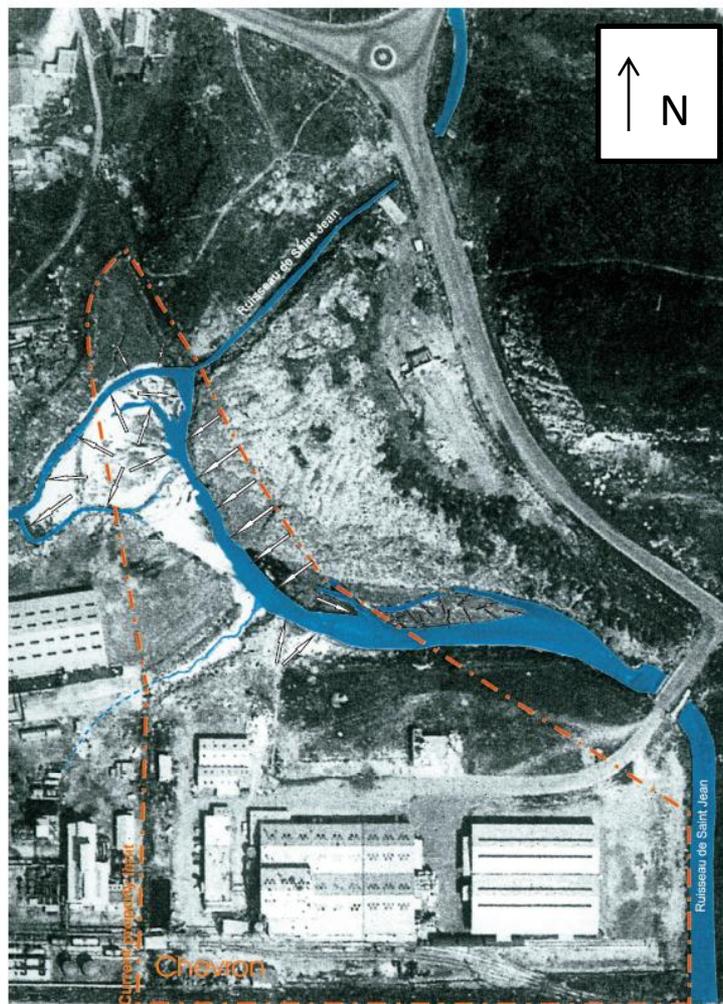
**Photographie aérienne : 1967  
(extrait du Plan de gestion A57328 –  
2010)**

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



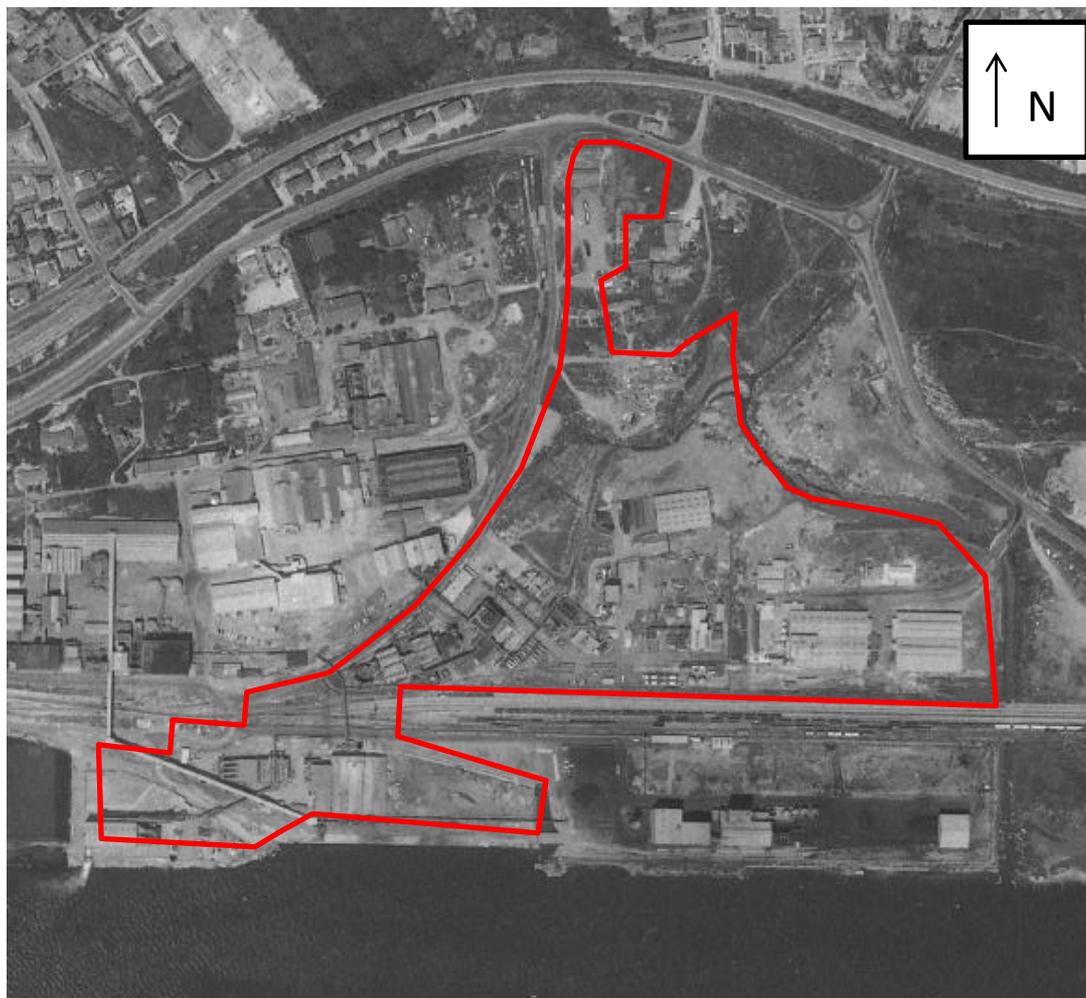
## Photographie aérienne : 1968

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



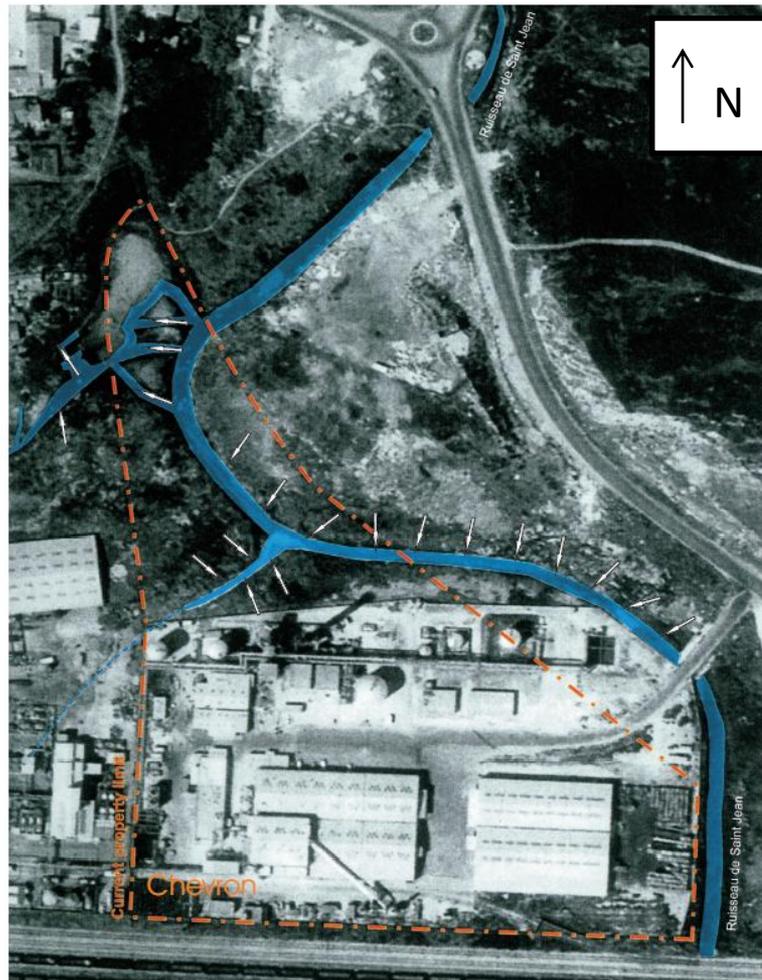
Photographie aérienne : 1972  
 (extrait du Plan de gestion A57328 –  
 2010)

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



Photographie aérienne : 1974

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



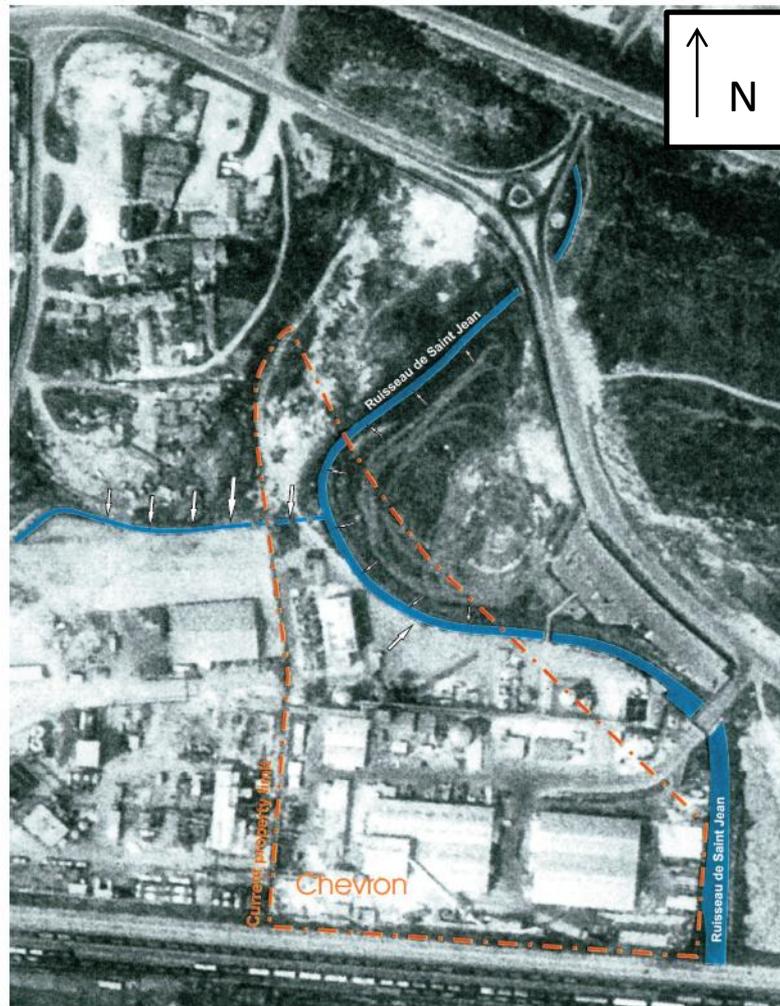
Photographie aérienne : 1978  
 (extrait du Plan de gestion A57328 –  
 2010)

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



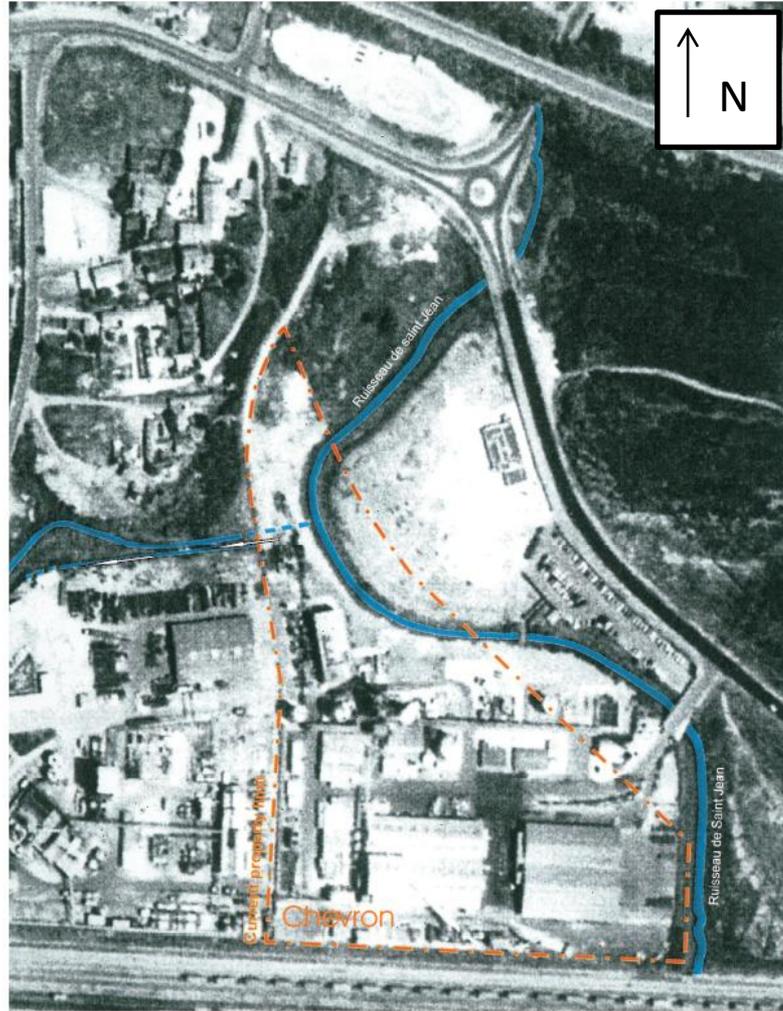
Photographie aérienne : 1982

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



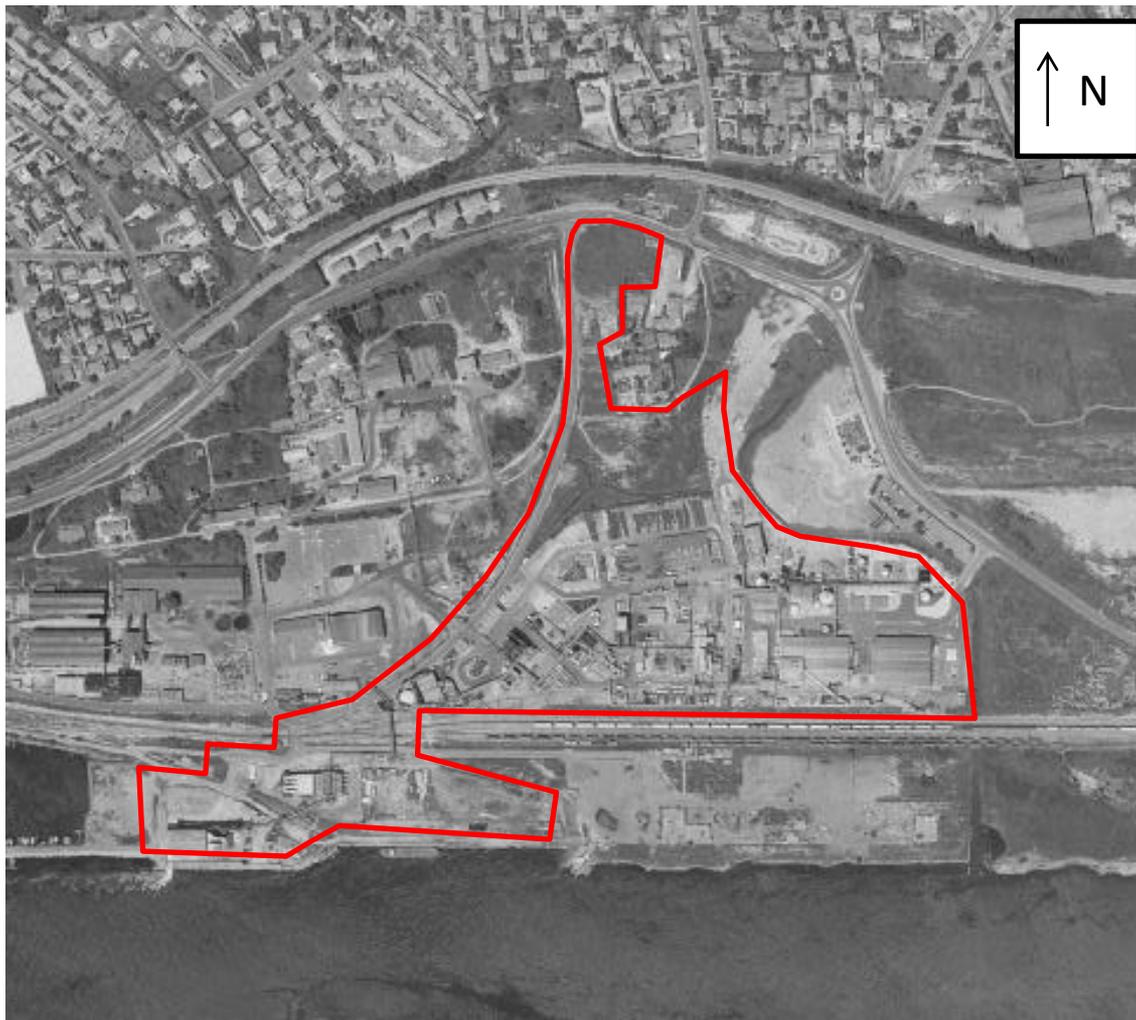
Photographie aérienne : 1984  
 (extrait du Plan de gestion A57328 –  
 2010)

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



Photographie aérienne : 1988  
 (extrait du Plan de gestion A57328 –  
 2010)

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



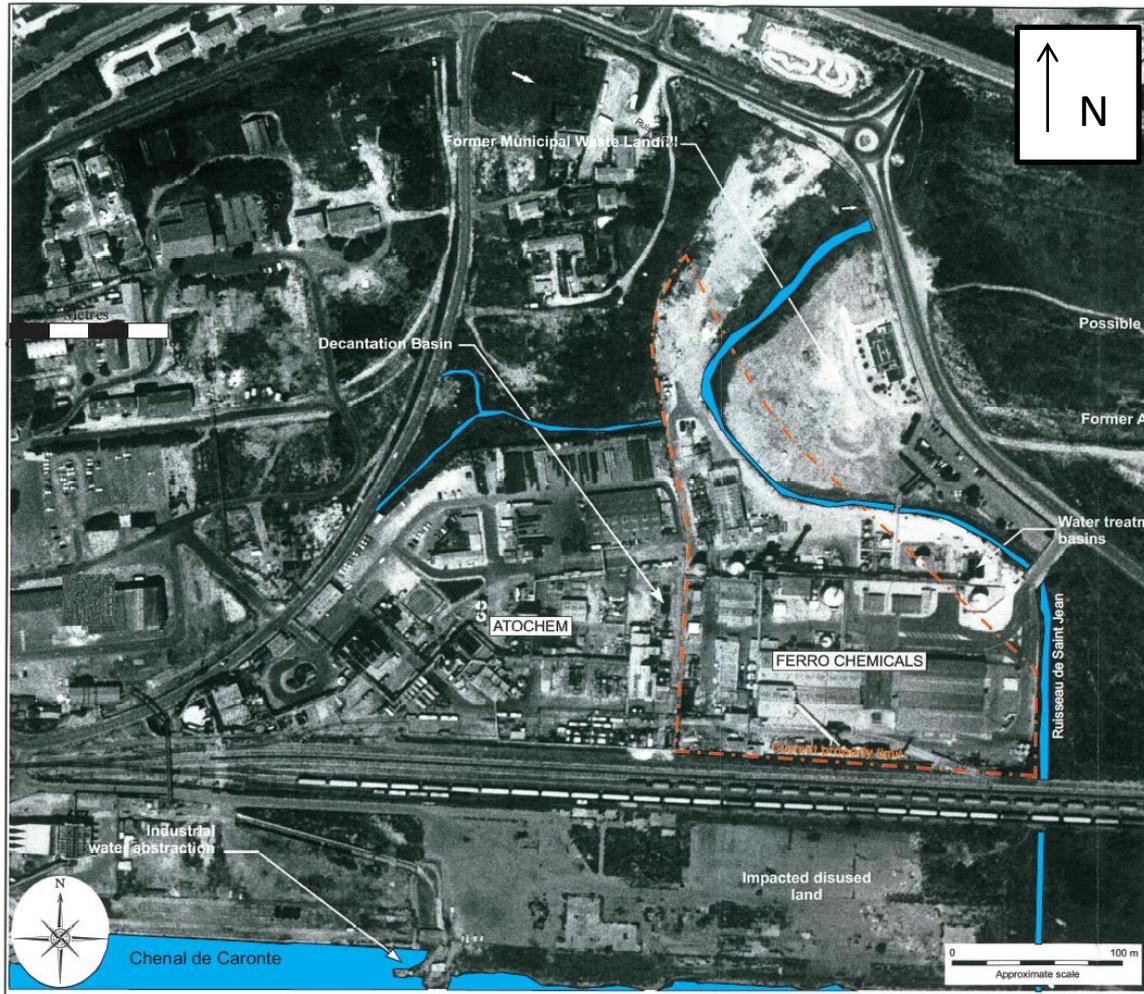
Photographie aérienne : 1992

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



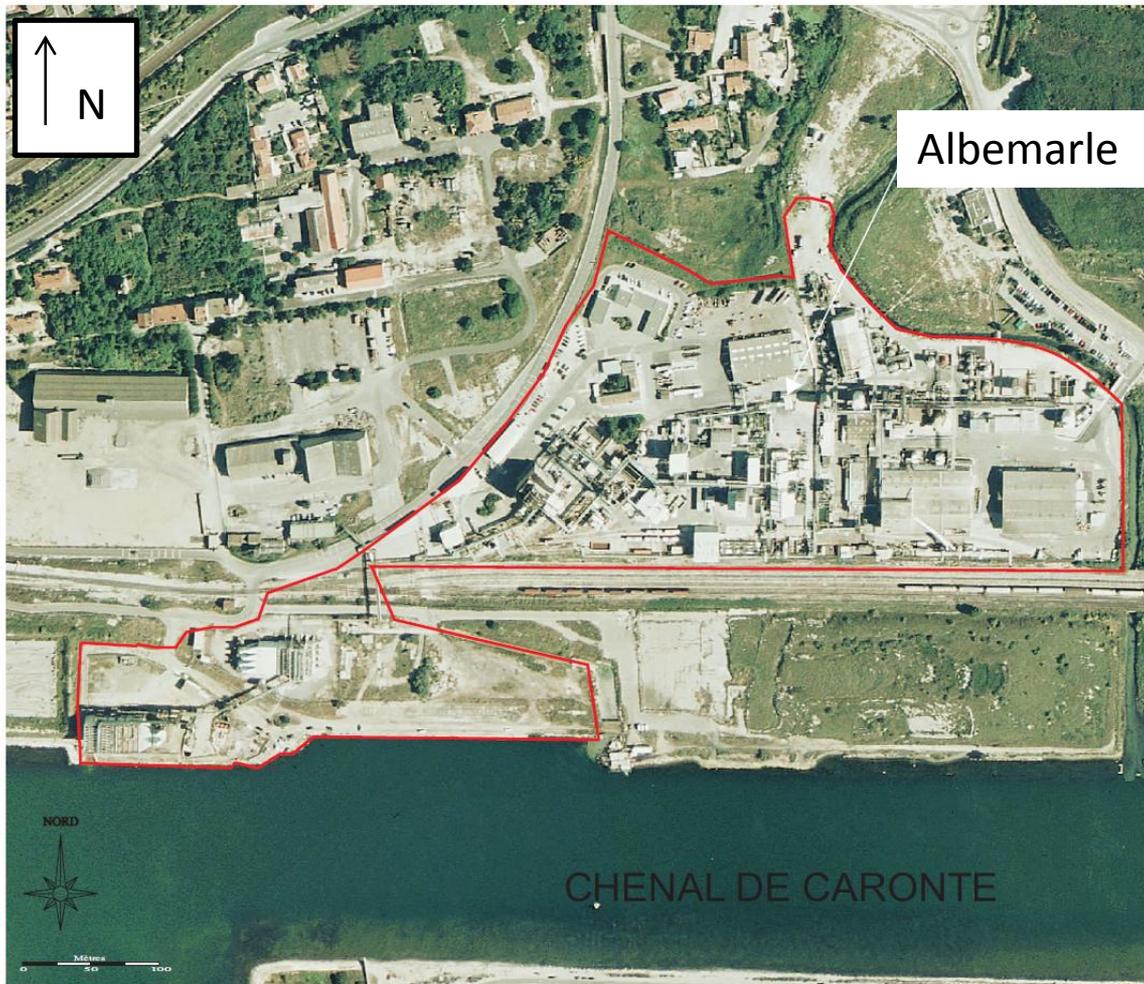
Photographie aérienne : 1992  
 (extrait du Plan de gestion A57328 –  
 2010)

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



**Photographie aérienne : 1998  
(extrait du Plan de gestion A57328 –  
2010)**

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



**Photographie aérienne : 2008  
(extrait du Plan de gestion A57328 –  
2010)**

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	



Photographie aérienne : 2011

A	Juin 2015	M. JOSSES	M. AUBERT
Rév	Date	Auteur	Visé
Type de document: A3		Identification: PACP1400124	

## **Annexe 3 :**

### Détails de l'Analyse des Risques Résiduels

(41 pages)

# 1. Analyse des Risques Résiduels

## 1.1. Préambule

Cette Analyse des Risques Résiduels (ARR) a été réalisée sur la base des éléments décelés dans le sous-sol (sol, gaz et nappe) au travers des investigations conduites sur le site et des mesures de gestion présentées au chapitre 10.

L'évaluation porte sur les risques sanitaires liés à l'exposition chronique des usagers futurs du site aux substances à danger potentiel décelées lors des diagnostics environnementaux.

## 1.2. Méthode

Cette étude a été menée conformément à la nouvelle méthodologie de gestion des sites et sols pollués, définie dans la circulaire du 8 février 2007 du MEDD (Ministère de l'Écologie et du Développement Durable), actuellement le MEEDDM (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer) et en particulier dans le guide intitulé « Démarche d'Analyse des Risques Résiduels » également daté du 8 février 2007.

Cette étude prend en compte :

- Les objectifs de dépollution fixés dans les sols,
- Les concentrations mesurées dans le sol et la nappe pour les autres paramètres,
- les usages futurs du site,
- les données toxicologiques à jour.

Le modèle d'évaluation des risques pour la santé humaine repose sur le concept « sources-vecteurs-cibles » :

1. Source de substances à impact potentiel ;
2. Transfert des substances (par un « vecteur ») vers un point d'exposition,
3. Exposition à ces substances des populations (ou « cibles ») situées au point d'exposition.

L'ARR est réalisée à l'aide de la feuille de calculs sécurisée SANTEA mise au point par Antea Group. Elle intègre les codes et équations de calcul des modèles reconnus internationalement, tels que RBCA (Risk Based Corrective Action)<sup>1</sup> et JOHNSON ET ETTINGER (2004)<sup>2</sup>. Ces modèles et les critères sanitaires qui les accompagnent sont reconnus à l'échelle internationale.

Pour chaque substance et pour chaque scénario, il y a trois niveaux de calculs : le calcul de la concentration au point d'exposition (modèle de transfert), le calcul de la concentration moyenne Inhalée (modèle d'exposition) et le calcul des risques sanitaires (ERI pour les effets sans seuil et QD pour les effets avec seuil).

---

<sup>1</sup> Code développé dans le cadre de l'approche RAGS (Risk Assessment Guidance for Superfund) de l'US-EPA (United State - Environmental Protection Agency), par l'ASTM (American Society for Testing and Materials, rapport E 1739-95).

<sup>2</sup> Johnson et Ettinger, 2004. Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings. Environ. Sci. Technology, 25 : 1445-1452.

Pour un scénario donné, le risque par substance est obtenu en procédant au calcul majorant du Quotient de Danger (QD) et de l'Excès de Risque Individuel (ERI), puis en comparant les résultats obtenus aux critères sanitaires en vigueur définis dans la circulaire ministérielle du 8 février 2007 :

$QD < 1$ $ERI < 10^{-5}$
-----------------------------

Les risques, pour un individu et pour un scénario donné, sont obtenus en cumulant les risques calculés par substance.

Ces considérations sont développées dans les quatre étapes de l'ARR :

- Identification des dangers,
- Relations doses / effets pour les substances,
- Evaluation des expositions,
- Evaluation et caractérisation des risques.

En complément, les incertitudes affectant cette évaluation sont discutées.

Les informations sur la « source » sont extraites des résultats des investigations de terrain.

Les modèles de transfert et d'exposition, fournis par les méthodes de JOHNSON ET ETTINGER et de RBCA, permettent le calcul de la concentration au point d'exposition d'une part et le calcul des concentrations moyennes inhalées par les populations du site d'autre part.

### **1.3. Identification des dangers**

#### **1.3.1. Présentation des futurs usages de la zone étudiée et caractéristiques des aménagements**

A l'heure actuelle aucun aménagement spécifique n'est prévu sur le site. Ainsi, nous avons envisagé 3 zones distinctes d'aménagements :

- la zone autour des habitations au nord (parcelles cadastrales 167 à 174),
- le site d'Azur Chimie au droit duquel nous retrouvons une zone avec autorisation de bâti et une zone d'exclusion de bâti (parcelles cadastrales 140, 141, 144, 145),
- la zone des pomperies au sud de la voie ferrée (parcelles cadastrales 34, 36, 37).

Les grands principes d'aménagement par zone sont présentés ci-après :

- un aménagement de type résidentiel a été retenu pour la zone autour des habitations (habitats collectifs sans sous-sol et sans jardin individuels) sans apport de terre végétal sur les espaces verts extérieurs ;
- un aménagement de type tertiaire/industriel sur vide sanitaire avec espaces extérieurs (avec apport de terre saine avec les seuils en métaux défini précédemment) sur le site Azur chimie avec autorisation de bâti.
- un espace vert sur la zone Azur chimie en exclusion de bâti avec apport de terre saine avec les seuils en métaux défini précédemment.

- Une zone de pêche pour l'aménagement pomperie avec apport de terre saine avec les seuils en métaux définis précédemment.

### 1.3.2. Identification des sources de pollution

La caractérisation des sources de pollution a été réalisée via les campagnes d'investigations exposées au chapitre 5 de ce rapport. Ces données ont servi de base aux calculs de risques présentés ci-après.

### 1.3.3. Description des scénarii retenus et voies d'exposition

La définition des points d'exposition correspond à la détermination des points de contact entre le milieu contaminé et la cible considérée. Compte tenu de la nature de substances présentes dans les sols et la nappe (métaux et substances organiques volatiles), les **seules voies d'exposition pertinentes et retenues sont les suivantes** :

	Zone autour des habitations Nord	Azur Chimie Zone bâti	Azur Chimie Zone d'exclusion bâtie	Zone des pomperies
• Inhalation de remontées de vapeurs dans les bâtiments	✓	✓		
• Inhalation de remontées de vapeurs à l'extérieur des bâtiments	✓	✓	✓	✓
• Inhalation de poussières remises en suspension	✓	✓ (sur la base du recouvrement par des terres saines)	✓ (sur la base du recouvrement par des terres saines)	✓ (sur la base du recouvrement par des terres saines)
• Ingestion de sol	✓			

**Nota** : la voie d'exposition par contact cutané n'est plus à considérer selon la nouvelle méthodologie, qui précise (circulaire DGS 2014) : « le pétitionnaire ne doit en l'absence de procédure établie pour la construction de VTR pour la voie cutanée envisager une transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ».

### 1.3.4. Caractéristiques des aménagements du projet

Les paramètres d'aménagement pris en compte dans les calculs de risques pour les différents scénarios sont détaillés ci-après. Ils sont basés sur le retour d'expérience dont dispose ANTEA Group.

- Aménagements pour la zone autour des habitations au nord (parcelles cadastrales 167 à 174)

Le tableau suivant donne les valeurs retenues pour la modélisation des remontées de vapeurs à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Nous avons retenu pour la partie haute de cette parcelle un aménagement de type bâtiment sans sous-sol et avec jardin collectif.

	Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Bâtiment sans sous-sol	Différentiel de pression	40	g/cm.s2	Valeur du modèle JOHNSON ET ETTINGER
	Epaisseur des fissures de la dalle	0.2	m	Valeur usuelle
	Hauteur du bâtiment	2.5	m	Valeur usuelle
	Largeur du bâtiment	8	m	Valeur usuelle
	Longueur du bâtiment	8	m	Valeur usuelle
	Profondeur des fissures	0.2	m	Valeur usuelle
	Rayon équivalent des fissures	0.001	m	Méthode de calcul Johnson-Ettinger
	Taux de renouvellement d'air du bâtiment	0.000139	/s	Valeur correspondant au renouvellement d'un demi volume par heure : valeur sécuritaire
	Fraction de sol dans les particules dans l'air intérieur	0.8	-	Valeur du modèle HESP
	Concentration en particules en suspension dans l'air intérieur	5.25E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP
Jardin	Longueur de la zone polluée	100	m	Plus grande distance perpendiculaire au sens des vents
	Vitesse du vent	3	m/s	Valeur usuelle
	Fraction de sol dans les particules dans l'air extérieur	0.5	-	Valeur du modèle HESP
	Concentration en particules en suspension dans l'air extérieur	7E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP

**Tableau 1 : Caractéristiques des aménagements retenus pour les calculs de risque pour la partie haute de la zone autour des habitations au nord (parcelles cadastrales 167 à 174)**

- Aménagements pour la zone Azur Chimie avec autorisation de bâti et pour la zone Azur Chimie avec exclusion de bâti

Le tableau suivant donne les valeurs retenues pour la modélisation des remontées de vapeurs à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Nous avons retenu pour un aménagement de type bâtiment sur vide sanitaire et espaces verts pour la zone avec autorisation de bâti et uniquement un espace vert pour la zone avec exclusion de bâti.

	Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Bâtiment sans sous-sol	Différentiel de pression entre sol et ss-sol / vs	20	g/cm.s2	Valeur du modèle JOHNSON ET ETTINGER
	Différentiel de pression entre ss-sol/vs et rdc	20	g/cm.s2	Valeur du modèle JOHNSON ET ETTINGER
	Epaisseur de la dalle	0.1	m	Valeur usuelle
	Densité de fissures	0.20	m-2	Hypothèse du modèle VOLASOIL
	Hauteur du bâtiment	2.5	m	Valeur usuelle
	Largeur du bâtiment	8	m	Valeur usuelle
	Longueur du bâtiment	8	m	Valeur usuelle
	Fraction de surface occupée par fissure	1E-05	-	Hypothèse du modèle VOLASOIL
	Taux de renouvellement d'air du bâtiment	0.00138	/s	Valeur correspondant au renouvellement de 5volumes par heure : valeur sécuritaire
	Hauteur du vide sanitaire	0.60	m	Hypothèse du modèle VOLASOIL
	Taux de ventilation de base dans le vide-sanitaire	0.016	m3/s	Hypothèse correspondant à un taux de renouvellement de 1,5 le volume du vide sanitaire
	Fraction de sol dans les particules dans l'air intérieur	0.8	-	Valeur du modèle HESP
	Concentration en particules en suspension dans l'air intérieur	5.25E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP
Jardin	Longueur de la zone polluée	100	m	Plus grande distance perpendiculaire au sens des vents
	Vitesse du vent	3	m/s	Valeur usuelle
	Fraction de sol dans les particules dans l'air extérieur	0.5	-	Valeur du modèle HESP
	Concentration en particules en suspension dans l'air extérieur	7E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP

**Tableau 2 : Caractéristiques des aménagements retenus pour les calculs de risque pour la zone Azur Chimie avec autorisation de bâti et avec exclusion de bâti**

- Aménagements pour la zone pomperie

	Paramètres de calcul	Valeur	Unités	Justification
Zone de pêche	Longueur de la zone polluée	100	m	Plus grande distance perpendiculaire au sens des vents
	Vitesse du vent	3	m/s	Valeur usuelle
	Fraction de sol dans les particules dans l'air extérieur	0.5	-	Valeur du modèle HESP
	Concentration en particules en suspension dans l'air extérieur	7E-08	kg/m3	Valeur du modèle HESP

**Tableau 3 : Caractéristiques des aménagements retenus pour les calculs de risque pour la zone pomperie**

### 1.3.5. Caractéristiques du sous-sol

Les caractéristiques du sous-sol prises en compte dans les calculs de risques sont détaillées ci-après.

Selon les coupes de sol réalisées lors de la phase d'investigation, les sols en place sont de type argileux limoneux sur la zone autour des habitations au Nord et de type sables limoneux pour le site Azur Chimie et la zone pomperie. A partir de ces typologies de sol les tableaux ci-dessous récapitulent et justifient les caractéristiques du sous-sol utilisées dans les calculs de risques.

Paramètres de calcul	Valeur	Justification
Masse volumique du sol	1,7	Valeur bibliographique
Carbone organique total	0,17 % MS	Valeurs minimale mesurée sur l'ensemble des analyses de COT
Porosité du sol	0,442	Valeur proposée par JOHNSON ET ETTINGER pour un sol de type argile limoneuse
Teneur en eau volumique du sol	0,164	Valeur calculée à partir d'une teneur moyenne en matière sèche de 90% analysée et d'un sol de type argile limoneuse
Teneur en air volumique du sol	0,278	Valeur obtenue par la différence entre la porosité et la teneur en eau retenue
Perméabilité à l'air	$1,10 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$	Valeur calculée à partir des hypothèses proposées par JOHNSON ET ETTINGER pour un sol de type argile limoneuse (Cf. calcul en fin d'annexe 11)

**Tableau 4 : Caractéristiques des sols retenus pour les calculs de risque pour la zone autour des habitations au nord**

Paramètres de calcul	Valeur	Justification
Masse volumique du sol	1,7	Valeur bibliographique
Carbone organique total	0,1 % MS	Valeur proposée par JOHNSON ET ETTINGER
Porosité du sol	0,39	Valeur proposée par JOHNSON ET ETTINGER pour un sol de type sables limoneux
Teneur en eau volumique du sol	0,076	Valeur calculée à partir d'une teneur moyenne en matière sèche de 90% analysée et d'un sol de type sables limoneux
Teneur en air volumique du sol	0,314	Valeur obtenue par la différence entre la porosité et la teneur en eau retenue
Perméabilité à l'air	$1,55 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$	Valeur calculée à partir des hypothèses proposées par JOHNSON ET ETTINGER pour un sol de type sables limoneux (Cf. calcul en fin d'annexe 11)

**Tableau 5 : Caractéristiques des sols retenus pour les calculs de risque pour la zone Azur Chimie et la zone pomperie**

### 1.3.6. Population cible

La population cible fréquentant la zone d'étude est une population d'adultes (assimilée à des individus de poids corporel 70 kg, durée de vie 70 ans) travaillant ou résidant dans les futurs aménagements et des enfants de 6 ans résidant dans les futurs aménagements.

Les hypothèses d'exposition sont présentées ci-après :

Cibles	Paramètres	Bâtiments	Espaces extérieurs
Fréquence d'exposition Travailleurs adultes	Fréquence d'exposition	7 h/j 220 j/an soit <b>64 jours</b> de 24 h par an pour la zone avec autorisation de bâti	1 h/j 220 j/an soit <b>9 jours</b> de 24 h par an pour la zone avec autorisation de bâti  1 h/j 220 j/an soit <b>9 jours</b> de 24 h par an pour la zone avec exclusion de bâti
	Durée d'exposition	42 ans	42 ans
Adultes résidents	Fréquence d'exposition inhalation	<b>217<sup>3</sup> jours</b> de 24 h par an	<b>50<sup>4</sup> jours</b> de 24 h par an
	Fréquence d'exposition ingestion	-	156 <sup>5</sup> j/an
	Durée d'exposition	30 ans	30 ans
	Quantité de sol ingérée	-	50 mg/j
	Poids	-	70 kg
Enfants résidents	Fréquence d'exposition	<b>296<sup>6</sup> jours</b> de 24 h par an	<b>68<sup>7</sup> jours</b> de 24 h par an
	Fréquence d'exposition ingestion	-	156 <sup>5</sup> j/an
	Durée d'exposition	6 ans	6 ans
	Quantité de sol ingérée	-	91 mg/j
	Poids	-	15 kg
Pêcheurs adultes	Fréquence d'exposition inhalation	-	<b>7,5<sup>8</sup> jours</b> de 24 h par an
	Durée d'exposition	-	30 ans
Pêcheurs enfants	Fréquence d'exposition	-	<b>7,5<sup>9</sup> jours</b> de 24 h par an
	Durée d'exposition	-	6 ans

**Tableau 6 : Paramètres d'exposition retenus**

La quantité de 50 mg/j de poussières ingérées pour un adulte menant des activités variées à la fois à l'intérieur et l'extérieur de son habitation, provient du document INERIS sur la méthode de calcul des VCI de 2001.

Celle utilisée pour l'enfant (91 mg/j) provient du document INERIS de 2012 « Quantité de terre ingérée par un enfant de moins 6 ans et bio-accessibilité des polluants – Etat des connaissances et propositions ».

<sup>3</sup> Cela correspond à 14 h/j, 5 j/7 hiver, 23 h/j, 2 j/7 hiver et 12 h/j, 7j /7 été.

<sup>4</sup> Cela correspond à 1 h/j, 7 j/7 hiver, 3 h/j, 5 j/7 été et 12 h/j, 2j /7 été

<sup>5</sup> Cela correspond à une exposition 3 jours par semaine pendant 52 semaines/an

<sup>6</sup> Cela correspond à 23 h/j, 7 j/7 hiver et 16 h/j, 7j/7 été.

<sup>7</sup> Cela correspond à 1 h/j, 7 j/7 hiver et 8 h/j, 7j/7 été

<sup>8</sup> Cela correspond à 30 j/an pendant 6 heures

<sup>9</sup> Cela correspond à 30 j/an pendant 6 heures

### 1.3.7. Substances et teneurs à prendre en compte dans l'EQRS

Le choix des substances à impact potentiel repose sur les résultats des analyses de sols et de nappe réalisés dans le cadre du diagnostic de sol.

Les concentrations utilisées pour les calculs de risques sont les suivantes :

- concentrations maximales mesurées par zone dans les gaz du sol,
- seuils recommandés pour les substances concernées pour l'inhalation de poussières (métaux),
- en l'absence de concentrations dans les gaz du sol et de seuils sur la zone, prise en compte des concentrations maximales dans la nappe et dans les sols. *In fine*, le résultat le plus sécuritaire est retenu dans le calcul des risques.

Concernant les **hydrocarbures aliphatiques et aromatiques**, il apparaît que ce sont les hydrocarbures légers qui présentent potentiellement le plus de risques. Les fractions les plus significatives en termes de toxicité sont celles comprenant entre 5 et 16 atomes de carbone.

Les hydrocarbures dont le nombre d'atomes de carbone est supérieur à 16 ne sont pas pris en compte dans l'évaluation du risque pour la voie d'exposition par inhalation. En effet, selon le volume 4 du document Total Petroleum Hydrocarbons Working Group (1997), les composés en C16-C35 ne sont pas volatils et l'inhalation n'est pas la voie prépondérante d'exposition.

Concernant **les métaux**, à l'exception du mercure, les métaux toxiques ne sont pas considérés comme volatils. Ils ne seront donc pas pris en compte dans les calculs de risques. D'après la bibliographie, les données sur le comportement du mercure dans les sols convergent vers les hypothèses suivantes :

- entre 95 et 98 % du mercure total analysé dans les sols serait sous forme non volatile car sous forme complexée inorganique,
- entre 1 et 3 % du mercure total serait sous forme de méthylmercure,
- 2 à 3 % se présenterait sous la forme de mercure élémentaire volatil.

Dans une approche sécuritaire 5% du mercure a été considéré comme volatil.

De même, les substances analysées en quantités inférieures aux limites de détection ou ne disposant pas de Valeur Toxicologiques de Référence n'ont pas été retenues pour les calculs de risques

Lorsqu'une substance est présente dans deux milieux, les calculs de risque ont été réalisés avec les deux milieux ; le résultat le plus sécuritaire étant retenu *in fine*.

Le tableau, ci-après, indique les concentrations maximales retenues pour les calculs de risque pour chacune des zones retenues.

Paramètre	Concentrations dans le sol
	mg/kg
Fraction aliphatique >C16-C35	205
Fraction aromatique >C16-C21	7
Fraction aromatique >C21-C40	198
<b>Métaux</b>	
Mercure	0,18 pour l'ingestion et 5% soit 0,009 mg/kg pour l'inhalation
Antimoine	1,4
Arsenic	15
Baryum	91
Cadmium	1
Cuivre	34
Chrome III	41
Molybdène	5,69
Nickel	21
Zinc	200
Plomb	40
Sélénium	1

**Tableau 7 : Concentrations retenues pour les calculs de risque pour la zone autour des habitations**

Paramètre	Concentrations dans les eaux souterraines PZ	Concentrations dans les sols	Concentrations dans les gaz du sol
	µg/l	mg/kg	mg/m <sup>3</sup>
<b>TPH-WGC</b>			
Fraction aliphatique >C5-C6			1,154
Fraction aliphatique >C6-C8			2.84
Fraction aliphatique >C8-C10			0,326
Fraction aliphatique >C10-C12			0.082
Fraction aliphatique >C12-C16	0.022 La limite de solubilité est retenue 0,7 µg/l		
Fraction aliphatique >C16-C40	0.175 La limite de solubilité est retenue 2,5E-3 µg/l	5810	
Fraction aromatique >C8-C10			0.092
Fraction aromatique >C16-C21		1330	
Fraction aromatique >C21-C40		4480	
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)</b>			
Acénaphthylène		0.10	
Acénaphthène	4E-05	23	
Phénanthrène	1.7E-05	70	
Anthracène	3.2E-05	18	
Fluoranthène	0.00013	110	
Fluorène	1.3E-05	27	
Pyrène	9.1E-05	100	
Benzo(a)anthracène		85	
Chrysène		84	
Benzo(b)fluoranthène		86	
Benzo(k)fluoranthène		45	
Benzo(a)pyrène		90	
Dibenzo(ah)anthracène		120	
Benzo(g,h,i)pérylène		270	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène		170	
<b>Composés Organiques Halogénés Volatiles (COHV)</b>			
Bromodichlorométhane			0.0082
Chlorure de vinyle			0.0113
Dibromoéthane 1,2-			0.0041
Dichloroéthane, 1,2-			0.1240
Dichloroéthène, 1,1			0.0103
Dichloroéthène, cis-1,2-			0.0043
Dichlorométhane			0.0081
Trichloroéthène			0.0302
Tétrachloroéthène			0.0133
Trichlorométhane			0.033
<b>Chlorobenzènes</b>			
Hexachlorobenzène		2.70	
<b>Métaux</b>			
Mercure	-	2 pour l'inhalation de poussières et 5% de 60,8 mg/kg soit 3,04 mg/kg pour l'inhalation de vapeurs	
Arsenic	-	25	
Cadmium	-	100	

Paramètre	Concentrations dans les eaux souterraines PZ	Concentrations dans les sols	Concentrations dans les gaz du sol
	µg/l	mg/kg	mg/m <sup>3</sup>
Cuivre	-	400	
Zinc	-	1600	
Plomb	-	400	
<b>CAV</b>			
Benzène			0.0374
Ethylbenzène			0.0026
Toluène			0.0145
Xylène			0.0133
<b>Alcool</b>			
Acétone		0.83	
<b>Pesticides</b>			
Captafol		16.66	
Captan		4628	
<b>Phénols</b>			
Phénol		0.14	
Diméthylphénol, 2,4-		0.16	
Diméthylphénol, 3,4-		0.014	
Pentachlorophenol		0.002	
<b>PCBs</b>			
PCB		1.10	

**Tableau 8 : Concentrations retenues pour les calculs de risque pour la zone Azur Chimie avec autorisation de bâti**

Paramètre	Concentrations dans les eaux souterraines PZ	Concentrations dans les sols	Concentrations dans les gaz du sol
	µg/l	mg/kg	mg/m3
<b>TPH-WGC</b>			
Fraction aliphatique >C5-C6			1,96
Fraction aliphatique >C6-C8			1.5
Fraction aliphatique >C8-C10			7,76
Fraction aliphatique >C10-C12			0,96
Fraction aromatique >C8-C10			1,84
Fraction aromatique >C10-C12			0,425
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)</b>			
Naphtalène			0.0012
Acénaphthylène		2,9	
Acénaphthène	0.00015	1	
Phénanthrène	0.0004	11	
Anthracène	1.5E-05	3,60	
Fluoranthène	6.2E-05	18	
Fluorène	0.00011	2,70	
Pyrène	3.8E-05	20	
Benzo(a)anthracène		18	
Chrysène		15	
Benzo(b)fluoranthène		16	
Benzo(k)fluoranthène		9,39	
Benzo(a)pyrène		20	
Dibenzo(ah)anthracène		2	
Benzo(g,h,i)pérylène		12	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène		14	
<b>Composés Organiques Halogénés Volatiles (COHV)</b>			
Chlorométhane		11	
Bromodichlorométhane			0.0047
Bromoforme			0.0524
Chlorure de vinyle			0.0223
Dibromochlorométhane			0.0046
Dibromoéthane 1,2-			5,38
Dichloroéthane, 1,1-			0.014
Dichloroéthane, 1,2-			0.82
Dichloroéthène, 1,1			0.016
Dichloroéthène, cis-1,2-			0.0083
Dichloropropane 1,2-		0.13	
Hexachlorohéthane		42	
Dichlorométhane			0.0083
Tétrachloroéthène			0.060
Tétrachlorure de carbone			1.620
Trichlorométhane			3,53
Trichloroéthane, 1,1,1-			0.0025
Trichloroéthane, 1,1,2-			0.0032
Trichloroéthène			0.0525
Trichloropropane-1,2,3		5	
<b>Chlorobenzènes</b>			
Hexachlorobenzène		6,6	
Chlorobenzène		3,70	

Paramètre	Concentrations dans les eaux souterraines PZ	Concentrations dans les sols	Concentrations dans les gaz du sol
	µg/l	mg/kg	mg/m3
Dichlorobenzène (1,2) (-o)		1.4	
Dichlorobenzène, (1,4) (-p)		0.51	
Trichlorobenzène, 1,2,4-		0,058	
<b>Métaux</b>			
Mercure	5% de 0,6 µg/l soit 3E-5 mg/l pour l'inhalation de vapeurs	2 pour l'inhalation de poussières et 5% de 65 mg/kg soit 3,25 mg/kg pour l'inhalation de vapeurs	
Arsenic	-	25	
Cadmium	-	100	
Cuivre	-	400	
Zinc	-	1600	
Plomb	-	400	
<b>CAV</b>			
Benzène			5,05
Ethylbenzène			0.022
Toluène			82,63
Xylène			5,82
<b>Alcool</b>			
Acétone		2,5	
Butanol		0,048	
<b>Pesticides</b>			
Captafol		0,37	
Captan		80	
DDT		0,05	
Lindane		7	
<b>Phénols</b>			
Phénol		0,40	
Diméthylphénol, 2,4-		0.016	
Diméthylphénol, 3,4-			
Pentachlorophenol		0,23	
Trichlorophénol, 2,4,5-		0.01	
Trichlorophénol, 2,4,6-		0.034	
<b>Autres</b>			
PCB		2,90	
Biphényl		0,13	
Disulfure de carbone			0.039
Hexachlorobutadiène		14	
MTBE		0.0009	

**Tableau 9 : Concentrations retenues pour les calculs de risque pour la zone Azur Chimie avec exclusion de bâti**

Paramètre	Concentrations dans les eaux souterraines PZ	Concentrations dans les sols/remblais pour la partie basse
	µg/l	mg/kg
<b>TPH-WGC</b>		
Fraction aliphatique >C12-C16		19
Fraction aliphatique >C16-C35		1060
Fraction aromatique >C12-C16		19
Fraction aromatique >C16-C21		120
Fraction aromatique >C21-C40		940
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)</b>		
Phénanthrène		2
Anthracène		0,39
Fluoranthène		3,50
Fluorène		0,042
Pyrène		2
Benzo(a)anthracène		1,30
Chrysène		1,30
Benzo(b)fluoranthène		1,30
Benzo(k)fluoranthène		0,76
Benzo(a)pyrène		1,60
Dibenzo(ah)anthracène		0,08
Benzo(g,h,i)pérylène		0,75
Indéno(1,2,3-cd)pyrène		1,20
<b>Composés Organiques Halogénés Volatiles (COHV)</b>		
Trichlorométhane	0,0038	
Chlorure de vinyle	0,0002	
Dibromoéthane 1,2-	1,2	
Dichloroéthane, 1,2-	0,01	
Tétrachlorure de Carbone	0,0013	
<b>PCBs</b>		
Somme des PCB		0,22
<b>Métaux</b>		
Mercure	-	2 pour l'inhalation de poussières et 5% de 22,8 mg/kg soit 1,14 mg/kg pour l'inhalation de vapeurs
Arsenic	-	25
Cadmium	-	100
Cuivre	-	400
Zinc	-	1600
Plomb	-	400

**Tableau 10 : Concentrations retenues pour les calculs de risque pour la zone pomperie**

Les profondeurs suivantes ont été retenues :

Scénario	Valeur	Justification
Zone autour des habitations	Source sol : 0,1 m	Il est supposé une source juste affleurante sous le dallage
Zone Azur Chimie avec autorisation de bâti	Source sol et air du sol : 0,1 m Source nappe : 1,5 m	Il est supposé une source juste affleurante Niveau statique le plus élevé de la nappe
Zone Azur Chimie avec exclusion de bâti	Source sol et air du sol : 0,3 m Source nappe : 1,5 m	Il est supposé une source juste affleurante sous le recouvrement de 30 cm de terre saine <sup>10</sup> Niveau statique le plus élevé de la nappe
Zone pomperie	Source sol : 0,3 m Source nappe : 0,5 m	Il est supposé une source juste affleurante sous le recouvrement de 30 cm de terre saine Niveau statique le plus élevé de la nappe

**Tableau 11 : Profondeur des sources retenues pour les calculs de risque.**

## 1.4. Relation dose / effets pour les substances

Les calculs de risque font intervenir un nombre important de paramètres, notamment des paramètres relatifs aux caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques des substances. Ces paramètres sont inclus dans la feuille SANTEA.

Comme le prévoit le guide méthodologique du MEEDDAT, avant chaque calcul de risques, les caractéristiques des substances (particulièrement toxicologiques) sont systématiquement recherchées, sur les bases de données reconnues, pour, le cas échéant, être mises à jour par les données les plus récentes. L'analyse des risques sanitaires présentée ci-après est réalisée sur la base de la connaissance actuelle relative aux substances.

Il est distingué deux types de substances :

- les substances à effet avec seuil : elles sont caractérisées par un effet de seuil (c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'effet en dessous d'un certain seuil). Pour la voie inhalation, ce seuil est appelé dans le présent rapport valeur toxicologique de référence (notée VTR) ;
- les substances cancérigènes (sans effet seuil) : elles entraînent un risque dès qu'elles sont présentes. On définit alors l'excès de risque unitaire (ERU) qui est la pente de la courbe dose / effets.

Certaines substances peuvent être à la fois toxiques et cancérigènes.

Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont recherchées parmi les 6 bases de données nationales et internationales suivantes : USEPA<sup>[1]</sup>, ATSDR<sup>[2]</sup>, OMS<sup>[3]</sup>, Health Canada, RIVM<sup>[4]</sup> et de l'OEHHA<sup>[5]</sup>.

La sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) est effectuée conformément aux prescriptions établies par la circulaire DGS 08 octobre 2014.

<sup>10</sup> A l'exception du 1,2,3-trichloropropane, de l'héxachlorobutadiène, de l'héxachlorobenzène

<sup>[1]</sup> USEPA : United-States Environmental Protection Agency, base de données des Etats-Unis

<sup>[2]</sup> ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, base de données des Etats-Unis

<sup>[3]</sup> OMS : Organisation Mondiale de la Santé

<sup>[4]</sup> RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, base de données des Pays-Bas

<sup>[5]</sup> OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, base de données de l'état de californie

Substances	DIT Inhalation (mg/m3)	Facteur d'incertitude	Organe cible	Année	Référence bibliographiques	Valeur retenue
Acénaphthylène					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Acétone [Propanone]	30.88	100	Neurotoxicité	1994	ATSDR	oui
Aliphatique C>10-C12	1		Modifications hépatiques et hématologiques	1999	RIVM	oui
Aliphatique C>10-C12	1		Modifications hépatiques et hématologiques	1999	RIVM	oui
Aliphatique C>12-C16	1		Modifications hépatiques et hématologiques	1999	RIVM	oui
Aliphatique C>16-C35				1999	RIVM	oui
Aliphatique C>6-C8	18.4		Neurotoxicité	1999	RIVM	oui
Aliphatique C>8-C10	1		Modifications hépatiques et hématologiques	1997	RIVM	oui
Aliphatique C5-C6	18.4		Neurotoxicité	1999	RIVM	oui
Aliphatique C>8-C10	1		Modifications hépatiques et hématologiques	1997	RIVM	oui
Aliphatique C5-C6	18.4		Neurotoxicité	1999	RIVM	oui
Anthracène					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Antimoine					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Aromatiques>16-21				1999	RIVM	oui
Aromatiques>21-35				1999	RIVM	oui
Aromatiques>10-12	0.2		Diminution pondérale	1999	RIVM	oui
Aromatiques>8-10	0.2		Diminution pondérale	1999	RIVM	oui
Arsenic (+III)	0.001	2	Cancer du poumon	2000	RIVM	
Arsenic (+III)	0.00015	30	Développement (homme)	2008	OEHHA	oui
Baryum	0.001	100	Cardiovasculaires (rat)	2000	RIVM	oui
Benzène	0.03	300	Lymphopénie (homme)	2003	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Benzène	0.00958	10	Immunotoxicité (homme)	2007	ATSDR	oui
Benzène	0.06	10	Hématotoxicité (homme)	2008	OEHHA	
Benzo (g,h,i)Pérylène					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Biphényl					Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Bromodichlorométhane					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Bromoforme [Tribromométhane]					Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Butanol					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Cadmium	0.0003		Tumeurs pulmonaires	2012	ANSES	oui
Cadmium	0.000005		Néphrotoxicité (homme)	2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Cadmium	0.00002	30	Néphrotoxicité et toxicité pulmonaire (homme)	2003	OEHHA	
Cadmium	0.00001	9	Néphrotoxicité	2012	ATSDR	
Chrome (III)	0.06	10	Néphrotoxicité (homme)	2001	RIVM	oui
Chlorobenzène	0.01	5000	Multiple (rat)	1991	Health Canada	
Chlorobenzène	0.5	1000	Hépatotoxicité, néphrotoxicité (rat, lapin)	2000	RIVM	
Chlorobenzène	1	100	Hépatotoxicité, néphrotoxicité, reprotox (rat)	2003	OEHHA	oui
Chloroforme [Trichlorométhane]	0.063		Néphrotoxicité	2008	ANSES	oui
Chloroforme [Trichlorométhane]	0.0976	100	Hépatotoxicité (homme)	1997	ATSDR	
Chloroforme [Trichlorométhane]	9.8		Hépatotoxicité (chien)	1999	Health Canada	
Chloroforme [Trichlorométhane]	0.1	1000	Hépatotoxicité (rat)	2000	RIVM	
Chloroforme [Trichlorométhane]	0.3	300	Hépatotoxicité, néphrotoxicité (rat)	2003	OEHHA	
Chlorométhane [Chlorure de méthyle]	0.09	1000	Lésions cérébrales (souris)	2001	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Chlorométhane [Chlorure de méthyle]	0.105	1000	Neurotoxicité (souris)	1998	ATSDR	
Chlorure de vinyle [Chloroéthène]	0.1	30	Hépatotoxicité (rat)	2000	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Cuivre	0.001	100	Immunitaire et pulmonaire	2001	RIVM	oui
Cuivre	0.1		Appareil Respiratoire	2008	OEHHA	
DDT					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Dibromochlorométhane					Valeur définie par l'utilisateur	oui
Dibromométhane 1,2-	0.009	300	Nez (souris)	2004	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Dibromométhane 1,2-	0.0008	300	Système reproducteur	2003	OEHHA	
Dichlorobenzène (1,2) (-o)	0.6	100	Splénotoxicité (expérimental)	2000	RIVM	oui
Dichlorobenzène, (1,4) (-p)	0.8	100	Augmentation pondérale hépatique (rat)	1996	Base de données IRIS de l'US-EPA: <a href="http://www.epa.gov/iris/index.html">http://www.epa.gov/iris/index.html</a>	
Dichlorobenzène, (1,4) (-p)	0.06	30	Foie (rat)	2006	ATSDR	oui
Dichlorobenzène, (1,4) (-p)	0.095			1996	Health Canada	
Dichlorobenzène, (1,4) (-p)	0.67	100	Hépatotoxicité, néphrotoxicité (rat)	2000	RIVM	
Dichlorobenzène, (1,4) (-p)	0.8	100	Hépatotoxicité, néphrotoxicité (rat)	2003	OEHHA	
Dichloroéthène, 1,2-	2.43	90	Hépatotoxicité (rat)	2001	ATSDR	oui
Dichloroéthène, 1,1	0.2	30	Hépatotoxicité (rat)	2002	Base de données IRIS de l'US-EPA: <a href="http://www.epa.gov/iris/index.html">http://www.epa.gov/iris/index.html</a>	oui
Dichloroéthène, 1,1	0.07	300	Hépatotoxicité (cochon d'Inde)	2003	OEHHA	
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène]	0.6	30	Hépatotoxicité	2011	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène]	1.05	30	Hépatotoxicité (rat)	2000	ATSDR	
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène]	3	10	Méthémoglobinémie, neurotoxicité centrale (homme)	2000	RIVM	
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène]	0.4	100	Carboxyhémoglobinémie (homme)	2003	OEHHA	
DichlorophénoI, 2,4-					Aucune valeur dans les bases de données	oui

Dichloropropane 1,2-	0.004	300	Nez (rat)	1991	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Disulfure de carbone	0.7	30	Neurotoxicité	1995	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Disulfure de carbone	0.93	30	Neurotoxicité	1996	ATSDR	oui
Disulfure de carbone	0.1	50	Neurotoxicité	1999	Health Canada	
Disulfure de carbone	0.8	10	Neurotoxicité (homme)	2003	OEHHA	
Ethylbenzène	1	300	Atteintes du développement (rat, lapin)	1991	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Ethylbenzène	0.26	300	Néphrotoxicité	2006	ATSDR	oui
Ethylbenzène	0.77	100	Hépatotoxicité et néphrotoxicité (rat, souris)	2000	RIVM	
Ethylbenzène	2	30	Hépatotoxicité, néphrotoxicité (rat, souris)	2003	OEHHA	
Fluoranthène					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Fluorène					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Hexachlorobenzène					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Hexachlorobutadiène					Valeur définie par l'utilisateur	oui
Hexachloroéthane	0.03	3000	SNC	2011	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Lindane	0.00014			2000	RIVM	
Mercure	0.0003	30	Neurotoxicité (homme)	1995	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Mercure	0.0002	30	Neurotoxicité (homme)	1999	ATSDR	oui
Mercure	0.0002	30	Neurotoxicité (homme)	2000	RIVM	
Mercure	0.00003	300	Système nerveux (homme)	2008	OEHHA	
Méthyl t-Butyl Ether	3	100	Néphrotoxicité, Hépatotoxicité (rat)	1993	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Méthyl t-Butyl Ether	2.527	100	Néphrotoxicité (rat)	1996	ATSDR	oui
Méthyl t-Butyl Ether	0.037	10000	Neurotoxicité centrale (rat)	1991	Health Canada	
Méthyl t-Butyl Ether	8	30	Hépatotoxicité, néphrotoxicité (rat)	2003	OEHHA	
Molybdène	0.012	1000	Modification pondérale (rat, souris)	2000	RIVM	oui
Naphtalène	0.037		Epithélium respiratoire et olfactif	2013	ANSES	oui
Naphtalène	0.003	3000	Toxicité appareil respiratoire supérieur (souris)	1998	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Naphtalène	0.00366	300	Toxicité appareil respiratoire sup (rat, souris)	2003	ATSDR	
Naphtalène	0.009	1000	Toxicité respiratoire (souris)	2003	OEHHA	
Nickel	0.0005		Toxicité pulmonaire (lapin)	2000	RIVM	
Nickel	0.00009	30	Toxicité pulmonaire (rat)	2005	ATSDR	oui
Nickel	0.000018	1000	Toxicité pulmonaire (lapin)	1983	Health Canada	
Nickel	0.000014	30	Toxicité respiratoire et immunitaire (rat)	2012	OEHHA	
PCBs	0.0005			2001	RIVM	oui
Pentachlorophenol					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Phénanthrène					Valeur définie par l'utilisateur	oui
Phénol	0.2	100	Neurotoxicité et hépatotoxicité (rat, singe, souris)	2003	OEHHA	oui
Plomb					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Pyrène					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Sélénium	0.02	3	Sélenose (homme)	2001	OEHHA	oui
Tétrachloroéthène	0.04	1000	Neurotoxicité (homme)	2011	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Tétrachloroéthène	0.27	100	Neurotoxicité (rat)	1997	ATSDR	
Tétrachloroéthène	0.36	1000	Multiple (souris)	1992	Health Canada	
Tétrachloroéthène	0.25	100	Néphrotoxicité (travailleurs)	1999	RIVM	
Tétrachloroéthène	0.035		Néphrotoxicité et hépatotoxicité (rat)	2003	OEHHA	
Tétrachloroéthène	0.2			2006	OMS	oui
Tétrachlorure de carbone	0.0038		Effet cancérigène, hépatotoxicité	2008	ANSES	oui
Tétrachlorure de carbone	0.1		Hépatotoxicité	2010	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Tétrachlorure de carbone	0.19	30	Hépatotoxicité (rat)	2005	ATSDR	
Tétrachlorure de carbone	0.06	100	Hépatotoxicité (rat)	2000	RIVM	
Tétrachlorure de carbone	0.04	300	Hépatotoxicité (cochon-dinde)	2003	OEHHA	
Toluène	3		Neurotoxicité	2010	ANSES	oui
Toluène	5	10	Neurotoxicité (homme)	2005	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Toluène	0.3	100	Perte d'acuité visuelle (homme)	2000	ATSDR	
Toluène	3.8	10	Neurotoxicité centrale (homme)	1991	Health Canada	
Toluène	0.4	300	Neurotoxicité centrale (homme)	1999	RIVM	
Toluène	0.3	300	Neurotoxicité (rat)	2003	OEHHA	
Trichlorobenzène, 1,2,4-	0.007	5000	Multiple (rat)	1992	Health Canada	oui
Trichloroéthane, 1,1,1-	5	100	hépatotoxicité	2007	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Trichloroéthane, 1,1,1-	1	300	Neurotoxicité (gerbille)	2003	OEHHA	
Trichloroéthane, 1,1,2-					Aucune valeur dans les bases de données	oui
Trichloroéthène	0.002	10	Cœur, SNC	2011	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Trichloroéthène	0.0021	10	Developpement, système immunitaire	2013	ATSDR	
Trichloroéthène	0.6	100	Multiples (homme)	2003	OEHHA	oui
Trichlorophénol, 2,4,5-					Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Trichlorophénol, 2,4,6-					Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Trichloropropane-1,2,3	0.0003	3000		2009	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Xylene (mixture d'isomères)	0.1	300	Perte de la coordination motrice (rat)	2003	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Xylene (mixture d'isomères)	0.217	300	Neurotoxicité, pneumotoxicité (homme)	2007	ATSDR	oui
Xylene (mixture d'isomères)	0.18	1000	Foetotoxique (rat)	1991	Health Canada	
Xylene (mixture d'isomères)	0.87	1000	Atteintes du développement (rat)	1999	RIVM	
Xylene (mixture d'isomères)	0.7	10	Toxicité respiratoire (homme)	2003	OEHHA	

**Tableau 12 : Valeurs Toxicologiques de Référence pour effets toxiques par inhalation**

Substances	ERU Inhalation ((mg/m3)-1)	Organe cible	Année	Référence bibliographique	Valeur retenue
Acénaphthène	0.0011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Acénaphthylène	0.0011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Anthracène	0.011	-	2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Arsenic (+III)	4.3		1998	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Arsenic (+III)	3.3		2009	OEHA	
Arsenic (+III)	6.4		1992	Health Canada	
Benzène	0.026		2013	ANSES	oui
Benzène	0.0078		2000	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Benzène	0.006		2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Benzène	0.006		1998	Conseil d'Hygiène Publique de France	
Benzène	0.0022		2000	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Benzène	0.029		2009	OEHA	
Benzène	0.0033		1991	Health Canada	
Benzène	0.0005	Sang	2000	RIVM :	
Benzo (b) Fluoranthène	0.11		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (b) Fluoranthène	0.11		2004	OEHA	
Benzo (b) Fluoranthène	0.00187		1993	Health Canada	
Benzo (g,h,i) Pérylène	0.011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (g,h,i) Pérylène			1990	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Benzo (k) Fluoranthène	0.11		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo (k) Fluoranthène	0.11		2004	OEHA	
Benzo (k) Fluoranthène	0.00127		1993	Health Canada	
Benzo(a) Anthracène	0.11		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo(a) Anthracène	0.11		2004	OEHA	
Benzo(a) Pyrène	1.1		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Benzo(a) Pyrène	1.1		2004	OEHA	
Benzo(a) Pyrène	0.031		1993	Health Canada	
Bromodichlorométhane	0.037		2004	OEHA	oui
Bromoforme [Tribromométhane]	0.0011		1991	Base de données IRIS de l'US-EPA: <a href="http://www.epa.gov/iris/index.html">http://www.epa.gov/iris/index.html</a>	oui
Cadmium	1.8		1992	Base de données IRIS de l'US-EPA: <a href="http://www.epa.gov/iris/index.html">http://www.epa.gov/iris/index.html</a>	oui
Cadmium	4.2		2009	OEHA	
Cadmium	9.8		1993	Health Canada	
Captafol	0.043		1992	OEHA	oui
Captan	0.00066			OEHA	oui
Chloroforme [Trichlorométhane]	0.023		2001	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Chloroforme [Trichlorométhane]	0.0053		2004	OEHA	
Chloroforme [Trichlorométhane]	0.00034		1999	Health Canada	
Chlorure de vinyle [Chloroéthène]	0.0038		2012	ANSES	oui
Chlorure de vinyle [Chloroéthène]	0.0044		2000	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Chlorure de vinyle [Chloroéthène]	0.001		1987	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Chlorure de vinyle [Chloroéthène]	0.00278		2000	RIVM :	
Chlorure de vinyle [Chloroéthène]	0.078		2004	OEHA	
Chrysène	0.011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Chrysène	0.011		2004	OEHA	
DDT	0.097		1991	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
DDT	0.097		2004	OEHA	
Dibenzo(a,h) Anthracène	1.1		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Dibenzo(a,h) Anthracène	1.2		2004	OEHA	
Dibromochlorométhane	0.027		2004	OEHA	oui
Dibromoéthane 1,2-	0.6	Nez, poumons	2004	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Dibromoéthane 1,2-	0.071		2004	OEHA	
Dichlorobenzène, (1,4) (-p)	0.011		2004	OEHA	oui
Dichloroéthane, 1,1-	0.0016		2004	OEHA	oui
Dichloroéthane, 1,1-			1996	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Dichloroéthane, 1,2-	0.0034		2009	ANSES	oui
Dichloroéthane, 1,2-	0.026		1991	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Dichloroéthane, 1,2-	0.021		2004	OEHA	
Dichloroéthane, 1,1				Aucune valeur dans les bases de données	oui
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène]	0.00001		2011	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène]	0.001		2004	OEHA	
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène]	0.0000222		1993	Health Canada	
Dichloropropane 1,2-	0.01		2004	OEHA	oui
Ethylbenzène	0.0025		2008	OEHA	oui
Fluoranthène	0.0011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Fluorène	0.0011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Hexachlorobenzène	0.46		1996	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Hexachlorobenzène	0.51		2004	OEHA	
Hexachlorobutadiène	0.022		1991	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Hexachlororéthène	0.011			OEHA	oui
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	0.11		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	0.11		2004	OEHA	
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène	0.00376		1993	Health Canada	
Lindane	0.31			OEHA	oui
Méthyl t-Butyl Ether	0.00026		2004	OEHA	oui
Naphthalène	0.0056		2013	ANSES	oui
Naphthalène	0.0011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Naphthalène	0.034		2005	OEHA	
Nickel	0.4		2000	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Nickel	0.26		2004	OEHA	oui
PCBs	0.1		1997	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
PCBs	0.57		2004	OEHA	
Pentachlorophenol	0.0051		2009	OEHA	oui
Phénanthrène	0.0011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Plomb			1993	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Plomb	0.012		2009	OEHA	oui
Pyrène	0.0011		2003	Fiches de données toxicologiques de l'INERIS	oui
Tétrachloroéthène	0.00026		2011	Base de données IRIS de l'US-EPA: <a href="http://www.epa.gov/iris/index.html">http://www.epa.gov/iris/index.html</a>	oui
Tétrachloroéthène	0.0059		2004	OEHA	
Tétrachlorure de carbone	0.006		2010	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Tétrachlorure de carbone	0.042		2004	OEHA	
Tétrachlorure de carbone				ANSES	oui
Trichlorobenzène, 1,2,4-			1991	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Trichloroéthane, 1,1,2-	0.016		1994	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Trichloroéthane, 1,1,2-	0.016		2004	OEHA	
Trichloroéthène	0.0041		2011	Base de données IRIS de l'US-EPA	
Trichloroéthène	0.002		2004	OEHA	oui
Trichloroéthène	0.00061		1992	Health Canada	
Trichlorophénol, 2,4,6-	0.0031		1994	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Trichlorophénol, 2,4,6-	0.02		2004	OEHA	

**Tableau 13 : Valeurs Toxicologiques de Référence pour effets cancérogènes par inhalation**

Substances	DIT Ingestion (mg/kg/j)	Facteur d'incertitude	Organe cible	Année	Référence Bibliographique	Valeur retenue
Aliphatique C>16-C35	2		Modifications hépatiques	1999	RIVM	oui
Antimoine	0.0004	1000	Longévité,hyperglycémie,hyp ercholestérolémie (rat)	1991	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Antimoine	0.006	1000		2003	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	oui
Aromatiques>16-21	0.03		Diminution pondérale	1999	RIVM	oui
Aromatiques>21-35	0.03		Diminution pondérale	1999	RIVM	oui
Arsenic (III)	0.0003	3	Kératose et hyperpigmentation cut, complic vascula	1993	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Arsenic (III)	0.0003	3	Cutané (homme)	2007	ATSDR	oui
Arsenic (III)	0.001	2	Cutané (homme)	2000	RIVM	
Arsenic (III)	0.000035	30	Développement (homme)	2008	OEHHA	
Baryum	0.2	300	Néphrotoxicité (souris)	2005	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Baryum	0.2	100	Néphrotoxicité (souris)	2007	ATSDR	oui
Baryum	0.02	10	Cardiovasculaires (homme)	2000	RIVM	
Baryum	0.016			2004	Health Canada	
Cadmium	0.0005	10	Protéinurie (homme)	1994	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Cadmium	0.0001	10	Néphrotoxicité (homme)	2012	ATSDR	oui
Cadmium	0.0025		Néphrotoxicité	2011	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Cadmium	0.0005	2	Néphrotoxicité (homme)	1999	RIVM	
Cadmium	0.0005	10	Néphrotoxicité (homme)	2003	OEHHA	
Cadmium	0.001	10	Néphrotoxicité (homme)	1994	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Cadmium	0.0008			2004	Health Canada	
Chrome (III)	1.5	1000	Aucun effet observé (rat)	1998	Base de données IRIS de l'US- EPA	oui
Chrome (III)	0.005	500	Absence d'effet observé (rat)	2000	RIVM	
Chrome (III)	5	2	Absence d'effet observé (rat)	2000	RIVM	
Cuivre	0.03			2004	Health Canada	oui
Cuivre	0.14			2001	RIVM	
Cuivre	0.043			2003	EFSA	
Cuivre	0.5			1982	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	
Mercur	0.0003	30	Immunotoxicité (rat)	1995	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Mercur	0.002	100		2004	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	oui
Mercur	0.002	100	Néphrotoxicité (rat)	2000	RIVM	
Mercur	0.00016	1000	Système Nerveux (rat)	2003	OEHHA	
Mercur	0.004	100	Néphrotoxicité (homme)	1995	Eurochlor	
Molybdène	0.005	30	Augmentation taux d'acide urique (homme)	1993	Base de données IRIS de l'US- EPA: <a href="http://www.epa.gov/iris/ind&lt;br/&gt;ex.html">http://www.epa.gov/iris/ind ex.html</a>	oui
Molybdène	0.01	100	Néphrotoxicité (rat)	2000	RIVM	
Molybdène	0.0036			2006	EFSA	
Nickel	0.02	300	Diminution pondérale (rat)	1995	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Nickel	0.012			2004	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	oui
Nickel	0.05		Pneumotoxicité, immunotoxicité (rat)	2000	RIVM	
Nickel	0.011	300	Développement	2012	OEHHA	
Plomb	0.00357		Neurotoxicité, néphrotoxicité	2004	Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	oui
Plomb	0.0036		Neurotoxicité centrale (homme)	1999	RIVM	
Sélénium	0.005	3	Sélenose (homme)	1991	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Sélénium	0.005	3	Peau, Sélenose (homme)	2003	ATSDR	oui
Sélénium	0.0019			2000	EFSA	
Zinc	0.3	3	Hématotoxicité (homme)	2005	ATSDR	oui
Zinc	0.3	3	Hématotoxicité (homme)	1992	Base de données IRIS de l'US- EPA	
Zinc	0.5			2000	RIVM	

**Tableau 14 : Valeurs Toxicologiques de Référence pour effets toxiques par ingestion**

Substances	ERU Ingestion ((mg/kg/j)-1)	Année	Référence Bibliographique	Valeur retenue
Arsenic (+III)	1.5	1998	Base de données IRIS de l'US-EPA	oui
Arsenic (+III)	1.5	2009	OEHHA	
Cadmium	0		Aucune valeur dans les bases de données	oui
Nickel			Aucune valeur dans les bases de données	
Nickel	0.91	2009	OEHHA	
Plomb	0.0085	2009	OEHHA	oui
Plomb		1993	Base de données IRIS de l'US-EPA	

**Tableau 15 : Valeurs Toxicologiques de Référence pour effets cancérigènes par ingestion**

## 1.5. Evaluation des expositions

### 1.5.1. Transfert de pollution

#### 1.5.1.1. Transfert de pollution entre le sol et l'air confiné des bâtiments

Pour modéliser le transfert de polluants du sol vers l'air confiné des bâtiments de plein pied, SANTEA se base sur le modèle de Johnson et Ettinger (1991/2004). L'intérêt du modèle de Johnson et Ettinger est qu'il prend en compte conjointement le phénomène de diffusion et le phénomène de convection.

Pour les bâtiments avec vide sanitaire, nous avons utilisé les équations du modèle volasoil.

#### 1.5.1.2. Transfert de pollution entre le sol et l'air ambiant extérieur

Le modèle de transfert de pollution entre le sol et l'air ambiant extérieur, utilisé dans SANTEA, est basé sur les équations proposées dans le logiciel RBCA (Risk-Based Corrective Action) mis en place par l'ASTM (American Society for Testing and Materials).

#### 1.5.1.3. Transfert de pollution dans les poussières

Pour modéliser le transfert de polluants vers les poussières susceptibles de se ré envoler, nous avons utilisé les équations 48 et 49 du document de travail sur la méthodologie de calcul des VCI-version 1 du groupe de travail sols pollués – santé publique, dans laquelle nous avons considéré que la totalité de ce qui est inhalé est absorbé dans les poumons. Elles sont basées sur les équations du modèle HESP.

### 1.5.2. Calcul de la concentration moyenne inhalée au point d'exposition

Pour chaque scénario, une CI est calculée :

$$CI = \frac{C_{PE} \times FE \times DE}{Tm}$$

- où :
- CI est la concentration inhalée (mg/m<sup>3</sup>) ;
  - C<sub>PE</sub> est la concentration au point d'exposition (mg/m<sup>3</sup>) ;
  - FE est la fréquence d'exposition (jours/an) ;
  - DE est la durée d'exposition (années) ;
  - Tm est le temps moyenné (jours) :
- Tm = DE × 365 pour les substances à seuil,  
Tm = 70 × 365 pour les substances sans seuil.

### 1.5.3. Calcul de la Dose Journalière d'Exposition

La Dose Journalière d'Exposition est calculée sur la base de l'équation suivante :

$$DJE = \frac{C_{sol} \times Q_{sol} \times FE \times DE}{P \times Tm}$$

- où :
- DJE est la dose journalière d'exposition (mg/kg.jour) ;
  - C<sub>sol</sub> la concentration au point d'exposition dans le le sol (mg/kg) ;
  - Q<sub>sol</sub> est la quantité journalière ingérée de sol (kg/jour) ;
  - FE est la fréquence d'exposition (jours/an) ;
  - DE est la durée d'exposition (années) ;
  - P est le poids corporel de la cible (kg) ;
  - Tm est le temps moyenné (jours) :
- Tm = DE \*365 pour les substances à seuil,  
Tm = 70\*365 pour les substances sans seuil.

## 1.6. Evaluation et caractérisation des risques

### 1.6.1. Mode de calcul des risques

#### 1.6.1.1. Substances toxiques

Le quotient de danger (QD) pour les effets toxiques se calcule selon les équations suivantes (cumul pour l'ensemble des substances toxiques de la zone considérée) :

$$QD = \sum_{\substack{\text{substances} \\ \text{adultes enfants}}} [CI_{nc} \text{ ou } DJE / VTR_{\text{tox inh ou ing}}]$$

où :  $VTR_{\text{tox inh ou ing}}$  est la valeur toxicologique de référence de la substance pour la voie inhalation ou d'ingestion,

Dans un souci sécuritaire, nous avons sommé, en première approximation majorante, les QD de toutes les substances, sans distinction de leur organe cible et ceux obtenus pour les adultes et les enfants.

Selon la circulaire du 8 février 2007, le seuil de référence à ne pas dépasser est de 1 pour les effets toxiques.

#### 1.6.1.2. Substances cancérigènes

Pour les substances cancérigènes, l'excès de risque individuel se calcule selon les équations suivantes (cumul pour l'ensemble des substances cancérigènes de la zone considérée) :

$$ERI = \sum_{\substack{\text{substances} \\ \text{adultes enfants}}} [CI_c \text{ ou } DJE \times ERU_{\text{inh ou ing}}]$$

où :  $ERU_{\text{inh}}$  est l'excès de risque unitaire pour la voie inhalation ou d'ingestion,

Selon la circulaire du 8 février 2007, le seuil de référence à ne pas dépasser est de  $10^{-5}$  pour les effets cancérigènes (un risque de  $10^{-5}$  signifie qu'une personne exposée durant la vie entière a une probabilité de 1 sur 100 000 de développer un cancer lié à l'impact de la substance considérée).

### 1.6.2. Résultats des calculs de risques pour la zone autour des habitations

Les quotients de danger (QD) et excès de risques individuels (ERI) calculés pour chaque substance sont présentés dans les tableaux suivants.

Substance	QD Ingestion Sol-Résidentiel	QD Inhalation Jardin	QD Inhalation Poussières - Résidentiel	QD Inhalation Résidentiel sans sous-sol	Somme QD Adultes
Aliphatique C>16-C35 (Sol)	3.13E-05				<b>3.13E-05</b>
Antimoine (Sol)	7.12E-05				<b>7.12E-05</b>
Aromatiques>16-21 (Sol)	7.12E-05				<b>7.12E-05</b>
Aromatiques>21-35 (Sol)	2.01E-03				<b>2.01E-03</b>
Arsenic (+III) (Sol)	1.53E-02		2.98E-02		<b>4.50E-02</b>
Baryum (Sol)	1.39E-04		2.71E-03		<b>2.85E-03</b>
Cadmium (Sol)	3.05E-03		9.92E-05		<b>3.15E-03</b>
Chrome (III) (Sol)	8.34E-06		2.03E-05		<b>2.87E-05</b>
Cuivre (Sol)	3.46E-04		1.01E-03		<b>1.36E-03</b>
Mercure (Sol)	2.75E-05	5.52E-04	2.68E-05	1.84E-03	<b>2.44E-03</b>
Molybdène (Sol)	3.48E-04		1.41E-05		<b>3.62E-04</b>
Nickel (Nappe)	5.34E-04		6.95E-03		<b>7.48E-03</b>
Plomb (Sol)	3.42E-03				<b>3.42E-03</b>
Sélénium (Sol)	6.11E-05		1.49E-06		<b>6.25E-05</b>
Zinc (Sol)	2.04E-04				<b>2.04E-04</b>
<b>Somme</b>	<b>2.56E-02</b>	<b>5.52E-04</b>	<b>4.06E-02</b>	<b>1.84E-03</b>	<b>6.86E-02</b>

**Tableau 16 : Résultats des calculs de risque effets toxiques Adultes – Zone autour des habitations**

Substance	QD Ingestion Sol-Résidentiel résidentiel	QD Inhalation Jardin	QD Inhalation Poussières - Résidentiel	QD Inhalation Résidentiel sans sous-sol	Somme QD Enfants
Aliphatique C>16-C35 (Sol)	2.66E-04				2.66E-04
Antimoine (Sol)	6.05E-04				6.05E-04
Aromatiques>16-21 (Sol)	6.05E-04				6.05E-04
Aromatiques>21-35 (Sol)	1.71E-02				1.71E-02
Arsenic (+III) (Sol)	1.30E-01		4.06E-02		1.70E-01
Baryum (Sol)	1.18E-03		3.69E-03		4.87E-03
Cadmium (Sol)	2.59E-02		1.35E-04		2.61E-02
Chrome (III) (Sol)	7.09E-05		2.77E-05		9.86E-05
Cuivre (Sol)	2.94E-03		1.38E-03		4.32E-03
Mercure (Sol)	2.33E-04	1.13E-03	3.65E-05	2.51E-03	3.90E-03
Molybdène (Sol)	2.96E-03		1.93E-05		2.98E-03
Nickel (Nappe)	4.54E-03		9.47E-03		1.40E-02
Plomb (Sol)	2.91E-02				2.91E-02
Sélénium (Sol)	5.19E-04		2.03E-06		5.21E-04
Zinc (Sol)	1.73E-03				1.73E-03
<b>Somme</b>	<b>2.17E-01</b>	<b>1.13E-03</b>	<b>5.53E-02</b>	<b>2.51E-03</b>	<b>2.76E-01</b>

**Tableau 17 : Résultats des calculs de risque effets toxiques Enfants – Zone autour des habitations**

Substances	ERI Ingestion Sol-Résidentiel résidentiel	ERI Inhalation Poussières - Résidentiel	Somme des ERI Adultes
Arsenic (+III) (Sol)	2.94E-06	8.23E-07	3.77E-06
Cadmium (Sol)	0.00E+00	2.30E-08	2.30E-08
Nickel (Nappe)		6.96E-08	6.96E-08
Plomb (Sol)	4.45E-08	6.12E-09	5.06E-08
Somme	2.99E-06	9.22E-07	3.91E-06

**Tableau 18 : Résultats des calculs de risque effets cancérigènes Adultes – zone autour des habitations**

Substances	ERI Ingestion Sol-Résidentiel résidentiel	ERI Inhalation Poussières - Résidentiel	Somme des ERI Enfants
Arsenic (+III) (Sol)	2.94E-06	8.23E-07	3.77E-06
Cadmium (Sol)	0.00E+00	2.30E-08	2.30E-08
Nickel (Nappe)		6.96E-08	6.96E-08
Plomb (Sol)	4.45E-08	6.12E-09	5.06E-08
Somme	5.08E-06	2.51E-07	5.33E-06

**Tableau 19 : Résultats des calculs de risque effets cancérigènes Enfants – zone autour des habitations**

Les résultats montrent que, dans le cadre d'une habitation sans sous-sol de la zone nord, à partir des concentrations maximales mesurées et des seuils préconisés, aucun dépassement des valeurs seuils de 1 et  $10^{-5}$  n'est observé.

Toute reconversion du site pour un autre usage devra être étudiée et fera l'objet d'une mise à jour de l'ARR et du Plan de Gestion.

Nous rappelons que les hypothèses constructives retenues par Antea Group dans le cadre de cette étude deviennent des mesures constructives à appliquer a minima.

### 1.6.3. Résultats des calculs de risques pour la zone Azure Chimie avec autorisation de bâti

Les quotients de danger (QD) et excès de risques individuels (ERI) calculés pour chaque substance sont présentés dans les tableaux suivants.

Substance	QD Inhalation dans bâtiments avec vide sanitaire	QD Inhalation de vapeurs en extérieur	QD Inhalation Poussières	Somme QD
Acétone [Propanone] (Sol)	5.88E-06	8.85E-07		6.77E-06
Aliphatique C>10-C12 (Air)	4.19E-06	6.24E-07		4.82E-06
Aliphatique C>12-C16 (Nappe)	1.24E-03	1.85E-04		1.43E-03
Aliphatique C>6-C8 (Air)	7.89E-06	1.17E-06		9.06E-06
Aliphatique C>8-C10 (Air)	1.67E-05	2.48E-06		1.91E-05
Aliphatique C5-C6 (Air)	3.21E-06	4.78E-07		3.69E-06
Aromatiques>8-10 (Air)	2.37E-05	3.53E-06		2.72E-05
Arsenic (+III) (Sol)			1.37E-02	1.37E-02
Benzène (Air)	1.77E-04	2.62E-05		2.03E-04
Cadmium (Sol)			2.75E-03	2.75E-03
Chloroforme [Trichlorométhane] (Air)	2.81E-05	4.19E-06		3.23E-05
Chlorure de vinyle [Chloroéthène] (Air)	6.13E-06	9.15E-07		7.05E-06
Cuivre (Sol)			3.30E-03	3.30E-03
Dibromoéthane 1,2- (Air)	1.23E-05	1.74E-06		1.40E-05
Dichloroéthane, 1,2- (Air)	2.71E-06	4.04E-07		3.11E-06
Dichloroéthène, 1,1 (Air)	2.33E-06	3.44E-07		2.67E-06
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène] (Air)	7.02E-07	1.05E-07		8.07E-07
Ethylbenzène (Air)	3.99E-07	5.84E-08		4.57E-07
Mercure (Sol)	4.88E-01	6.49E-02	8.25E-05	5.53E-01
PCBs (Sol)	4.03E-03	5.99E-04		4.63E-03
Phénol (Sol)	4.51E-06	6.96E-07		5.20E-06
Tétrachloroéthène (Air)	2.49E-06	3.64E-07		2.85E-06
Toluène (Air)	2.16E-07	3.20E-08		2.48E-07
Trichloroéthène (Air)	2.05E-06	3.02E-07		2.35E-06
Xylène (mixture d'isomères) (Air)	2.30E-06	3.36E-07		2.64E-06
<b>Somme avec doublons</b>	<b>4.94E-01</b>	<b>6.58E-02</b>	<b>1.99E-02</b>	<b>5.80E-01</b>
<b>Somme sans doublons</b>	<b>4.94E-01</b>	<b>6.58E-02</b>	<b>1.99E-02</b>	<b>5.80E-01</b>

Tableau 20 : Résultats des calculs de risque effets toxiques Adulte – Zone Azure Chimie avec autorisation de bâti

Substances	ERI Inhalation dans bâtiments avec vide sanitaire	ERI Inhalation de vapeurs en extérieur	ERI Inhalation Poussières	Somme ERI
Acénaphthène (Nappe)	2.53E-13	3.52E-14		2.88E-13
Acénaphthène (Sol)	3.51E-07	4.88E-08		4.00E-07
Acénaphthylène (Sol)	2.02E-09	2.78E-10		2.29E-09
Anthracène (Nappe)	7.05E-13	9.82E-14		8.03E-13
Anthracène (Sol)	2.31E-07	3.22E-08		2.63E-07
Arsenic (+III) (Sol)			5.32E-07	5.32E-07
Benzène (Air)	2.65E-08	3.91E-09		3.04E-08
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	9.39E-08	1.26E-08		1.06E-07
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	1.37E-12	2.00E-13		1.57E-12
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	1.19E-11	1.70E-12		1.36E-11
Benzo(a)Anthracène (Sol)	3.97E-09	5.67E-10		4.54E-09
Benzo(a)Pyrène (Sol)	7.94E-10	1.20E-10		9.15E-10
Bromodichlorométhane (Air)	3.12E-09	4.13E-10		3.53E-09
Cadmium (Sol)			8.91E-07	8.91E-07
Captafol (Sol)	8.61E-11	1.21E-10		2.07E-10
Captan (Sol)	9.05E-12	1.06E-11		1.96E-11
Chloroforme [Trichlorométhane] (Air)	2.44E-08	3.64E-09		2.80E-08
Chlorure de vinyle [Chloroéthène] (Air)	1.40E-09	2.09E-10		1.61E-09
Chrysène (Sol)	7.78E-12	1.05E-12		8.83E-12
Dibenzo(a,h) Anthracène (Sol)	1.13E-11	2.58E-12		1.39E-11
Dibromoéthane, 1,2- (Air)	3.98E-08	5.63E-09		4.54E-08
Dichloroéthane, 1,2- (Air)	1.34E-08	2.00E-09		1.54E-08
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène] (Air)	2.53E-12	3.77E-13		2.90E-12
Ethylbenzène (Air)	1.56E-10	2.28E-11		1.78E-10
Fluoranthène (Nappe)	4.19E-14	5.79E-15		4.77E-14
Fluoranthène (Sol)	1.26E-09	1.74E-10		1.43E-09
Fluorène (Nappe)	5.53E-14	7.76E-15		6.31E-14
Fluorène (Sol)	1.26E-07	1.77E-08		1.44E-07
Hexachlorobenzène (Sol)	1.88E-06	2.67E-07		2.14E-06
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	3.88E-10	5.78E-11		4.46E-10
PCBs (Sol)	1.21E-07	1.80E-08		1.39E-07
Pentachlorophenol (Sol)	5.15E-14	1.45E-14		6.60E-14
Phénanthrène (Nappe)	2.65E-14	3.78E-15		3.03E-14
Phénanthrène (Sol)	2.81E-08	4.01E-09		3.21E-08
Plomb (Sol)			2.37E-08	2.37E-08
Pyrène (Nappe)	2.34E-14	3.07E-15		2.65E-14
Pyrène (Sol)	5.02E-10	6.58E-11		5.68E-10
Trichloroéthène (Air)	1.48E-09	2.18E-10		1.70E-09
Tétrachloroéthène (Air)	7.78E-11	1.13E-11		8.91E-11
<b>Somme avec doublons</b>	<b>2.95E-06</b>	<b>4.18E-07</b>	<b>1.45E-06</b>	<b>4.81E-06</b>
<b>Somme sans doublons</b>	<b>2.95E-06</b>	<b>4.18E-07</b>	<b>1.45E-06</b>	<b>4.81E-06</b>

**Tableau 21 : Résultats des calculs de risque effets cancérigènes Adulte – Zone Azure Chimie avec autorisation de bâti**

Les résultats montrent que, dans le cadre d'un usage industriel avec vide sanitaire (avec mesures constructives) du site, à partir des concentrations maximales mesurées et des seuils préconisés aucun dépassement des valeurs seuils de 1 et  $10^{-5}$  n'est observé.

Toute reconversion du site pour un autre usage devra être étudiée et fera l'objet d'une mise à jour de l'ARR et du Plan de Gestion.

Nous rappelons que les hypothèses constructives retenues par Antea Group dans le cadre de cette étude deviennent des mesures constructives à appliquer a minima (Rappel : dalles étanches, dépressurisation sous dalle, taux de renouvellement de l'air du bâtiment de 5 volumes par heure, taux de renouvellement de l'air du vide sanitaire de 1,5 le volume du vide sanitaire)

#### 1.6.4. Résultats des calculs de risques pour la partie Azure Chimie avec exclusion de bâti

Substance	QD Inhalation de vapeurs en extérieur	QD Inhalation Poussières	Somme QD
Acétone [Propanone] (Sol)	8.89E-06		8.89E-06
Aliphatique C>10-C12 (Air)	2.45E-06		2.45E-06
Aliphatique C>6-C8 (Air)	2.07E-07		2.07E-07
Aliphatique C>8-C10 (Air)	1.97E-05		1.97E-05
Aliphatique C5-C6 (Air)	2.71E-07		2.71E-07
Aromatiques>10-12 (Air)	5.39E-06		5.39E-06
Aromatiques>8-10 (Air)	2.34E-05		2.34E-05
Arsenic (+III) (Sol)		1.44E-03	1.44E-03
Benzène (Air)	1.18E-03		1.18E-03
Cadmium (Sol)		2.88E-04	2.88E-04
Chlorobenzène (Sol)	2.50E-03		2.50E-03
Chloroforme [Trichlorométhane] (Air)	1.48E-04		1.48E-04
Chlorométhane [Chlorure de méthyle] (Sol)	3.27E-01		3.27E-01
Chlorure de vinyle [Chloroéthène] (Air)	5.99E-07		5.99E-07
Cuivre (Sol)		3.45E-04	3.45E-04
Dibromoéthane 1,2- (Air)	7.59E-04		7.59E-04
Dichlorobenzène (1,2) (-o) (Sol)	6.48E-04		6.48E-04
Dichlorobenzène, (1,4) (-p) (Sol)	2.05E-03		2.05E-03
Dichloroéthane, 1,2- (Air)	8.90E-07		8.90E-07
Dichloroéthène, 1,1 (Air)	1.84E-07		1.84E-07
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène] (Air)	3.58E-08		3.58E-08
Dichloropropane 1,2- (Sol)	3.34E-02		3.34E-02
Disulfure de carbone (Air)	1.12E-07		1.12E-07
Ethylbenzène (Air)	1.61E-07		1.61E-07
Hexachlorohéthane (Sol)	5.93E-04		5.93E-04
Mercure (Sol)	2.31E-02	8.63E-06	2.31E-02
Méthyl t-Butyl Ether (Sol)	2.08E-07		2.08E-07
Naphthalène (Air)	4.63E-08		4.63E-08
PCBs (Sol)	5.27E-04		5.27E-04
Phénol (Sol)	6.63E-07		6.63E-07

Substance	QD Inhalation de vapeurs en extérieur	QD Inhalation Poussières	Somme QD
Tétrachloroéthène (Air)	5.49E-07		5.49E-07
Tétrachlorure de carbone (Air)	8.43E-04		8.43E-04
Toluène (Air)	6.08E-05		6.08E-05
Trichlorobenzène, 1,2,4- (Sol)	1.99E-04		1.99E-04
Trichloroéthane, 1,1,1- (Air)	1.01E-09		1.01E-09
Trichloroéthène (Air)	1.75E-07		1.75E-07
Trichloropropane-1,2,3 (Sol)	2.32E-01		2.32E-01
Xylène (mixture d'isomères) (Air)	4.91E-05		4.91E-05
<b>Somme avec doublons</b>	<b>6.25E-01</b>	<b>2.08E-03</b>	<b>6.27E-01</b>
<b>Somme sans doublons</b>	<b>6.25E-01</b>	<b>2.08E-03</b>	<b>6.27E-01</b>

**Tableau 22 : Résultats des calculs de risque effets toxiques Adulte – Zone Azure Chimie avec exclusion de bâti**

Substances	ERI Inhalation de vapeurs en extérieur	ERI Inhalation Poussières	Somme ERI
Acénaphthène (Nappe)	1.32E-13		1.32E-13
Acénaphthène (Sol)	9.51E-10		9.51E-10
Acénaphthylène (Sol)	2.69E-09		2.69E-09
Anthracène (Nappe)	4.60E-14		4.60E-14
Anthracène (Sol)	2.15E-09		2.15E-09
Arsenic (+III) (Sol)		5.57E-08	5.57E-08
Benzène (Air)	1.76E-07		1.76E-07
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	4.22E-09		4.22E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	6.68E-14		6.68E-14
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	5.66E-13		5.66E-13
Benzo(a)Anthracène (Sol)	1.89E-10		1.89E-10
Benzo(a)Pyrène (Sol)	4.01E-11		4.01E-11
Bromodichlorométhane (Air)	7.95E-11		7.95E-11
Bromoforme [Tribromométhane] (Air)	1.31E-11		1.31E-11
Cadmium (Sol)		9.32E-08	9.32E-08
Captafol (Sol)	5.04E-12		5.04E-12
Captan (Sol)	3.53E-12		3.53E-12
Chloroforme [Trichlorométhane] (Air)	1.29E-07		1.29E-07
Chlorure de vinyle [Chloroéthène] (Air)	1.37E-10		1.37E-10
Chrysène (Sol)	3.51E-13		3.51E-13
DDT (Sol)	2.30E-12		2.30E-12
Dibenzo(a,h) Anthracène (Sol)	8.60E-13		8.60E-13
Dibromochlorométhane (Air)	3.77E-11		3.77E-11
Dibromoéthane 1,2- (Air)	2.46E-06		2.46E-06
Dichlorobenzène, (1,4) (-p) (Sol)	8.12E-07		8.12E-07
Dichloroéthane, 1,1- (Air)	2.54E-11		2.54E-11
Dichloroéthane, 1,2- (Air)	4.41E-09		4.41E-09
Dichlorométhane [Chlorure de méthylène] (Air)	1.29E-13		1.29E-13

Substances	ERI Inhalation de vapeurs en extérieur	ERI Inhalation Poussières	Somme ERI
Dichloropropane 1,2- (Sol)	8.01E-07		<b>8.01E-07</b>
Ethylbenzène (Air)	6.27E-11		<b>6.27E-11</b>
Fluoranthène (Nappe)	2.76E-15		<b>2.76E-15</b>
Fluoranthène (Sol)	5.57E-11		<b>5.57E-11</b>
Fluorène (Nappe)	6.57E-14		<b>6.57E-14</b>
Fluorène (Sol)	1.04E-09		<b>1.04E-09</b>
Hexachlorobenzène (Sol)	8.92E-08		<b>8.92E-08</b>
Hexachlorobutadiène (Sol)	1.36E-06		<b>1.36E-06</b>
Hexachlorohéthane (Sol)	1.17E-07		<b>1.17E-07</b>
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	1.59E-12		<b>1.59E-12</b>
Lindane (Sol)	6.27E-08		<b>6.27E-08</b>
Méthyl t-Butyl Ether (Sol)	8.22E-11		<b>8.22E-11</b>
Naphthalène (Air)	5.75E-12		<b>5.75E-12</b>
PCBs (Sol)	1.58E-08		<b>1.58E-08</b>
Pentachlorophenol (Sol)	5.55E-13		<b>5.55E-13</b>
Phénanthrène (Nappe)	8.90E-14		<b>8.90E-14</b>
Phénanthrène (Sol)	1.34E-09		<b>1.34E-09</b>
Plomb (Sol)		2.49E-09	<b>2.49E-09</b>
Pyrène (Nappe)	1.28E-15		<b>1.28E-15</b>
Pyrène (Sol)	2.19E-11		<b>2.19E-11</b>
Tétrachloroéthène (Air)	1.71E-11		<b>1.71E-11</b>
Trichloroéthane, 1,1,2- (Air)	6.08E-11		<b>6.08E-11</b>
Trichloroéthène (Air)	1.26E-10		<b>1.26E-10</b>
Trichlorophénol, 2,4,6- (Sol)	1.65E-11		<b>1.65E-11</b>
<b>Somme avec doublons</b>	<b>6.04E-06</b>	<b>1.51E-07</b>	<b>6.19E-06</b>
<b>Somme sans doublons</b>	<b>6.04E-06</b>	<b>1.51E-07</b>	<b>6.19E-06</b>

**Tableau 23 : Résultats des calculs de risque effets cancérigènes Adulte – Zone Azure Chimie avec exclusion de bâti**

Les résultats montrent que, dans le cadre d'un usage extérieur du site de type arrière cours, à partir des concentrations maximales mesurées et des seuils préconisés aucun dépassement des valeurs seuils de 1 et  $10^{-5}$  n'est observé.

Toute reconversion du site pour un autre usage devra être étudiée et fera l'objet d'une mise à jour de l'ARR et du Plan de Gestion.

### 1.6.5. Résultats des calculs de risques pour la pomperie

Les quotients de danger (QD) et excès de risques individuels (ERI) calculés pour chaque substance sont présentés dans les tableaux suivants.

Substance	QD Inhalation zone de pêche	QD Inhalation Poussières - zone de pêche	Somme QD Adultes
Aliphatique C>12-C16 (Sol)	7.69E-04		7.69E-04
Aromatiques>12-16 (Sol)	2.10E-03		2.10E-03
Arsenic (+III) (Sol)		1.20E-03	1.20E-03
Cadmium (Sol)		2.40E-04	2.40E-04
Chloroforme [Trichlorométhane] (Nappe)	5.89E-06		5.89E-06
Chlorure de vinyle [Chloroéthène] (Nappe)	1.74E-06		1.74E-06
Cuivre (Sol)		2.88E-04	2.88E-04
Dibromoéthane 1,2- (Nappe)	1.09E-03		1.09E-03
Dichloroéthane, 1,2- (Nappe)	2.73E-07		2.73E-07
Mercuré (Sol)	6.80E-03	7.19E-06	6.81E-03
PCBs (Sol)	3.33E-05		3.33E-05
Tétrachlorure de carbone (Nappe)	2.16E-04		2.16E-04
<b>Somme avec doublons</b>	<b>1.10E-02</b>	<b>1.73E-03</b>	<b>1,28E-02</b>
<b>Somme sans doublons</b>	<b>1.02E-02</b>	<b>1.73E-03</b>	<b>1.19E-02</b>

**Tableau 24 : Résultats des calculs de risque effets toxiques Adultes – Zone pomperie**

Substance	QD Inhalation zone de pêche	QD Inhalation Poussières - zone de pêche	Somme QD Enfants
Aliphatique C>12-C16 (Sol)	1.15E-03		1.15E-03
Aromatiques>12-16 (Sol)	3.15E-03		3.15E-03
Arsenic (+III) (Sol)		1.20E-03	1.20E-03
Cadmium (Sol)		2.40E-04	2.40E-04
Chloroforme [Trichlorométhane] (Nappe)	8.83E-06		8.83E-06
Chlorure de vinyle [Chloroéthène] (Nappe)	2.60E-06		2.60E-06
Cuivre (Sol)		2.88E-04	2.88E-04
Dibromoéthane 1,2- (Nappe)	1.64E-03		1.64E-03
Dichloroéthane, 1,2- (Nappe)	4.10E-07		4.10E-07
Mercuré (Sol)	1.02E-02	7.19E-06	1.02E-02
PCBs (Sol)	4.99E-05		4.99E-05
Tétrachlorure de carbone (Nappe)	3.23E-04		3.23E-04
<b>Somme avec doublons</b>	1.65E-02	1.73E-03	1.82E-02
<b>Somme sans doublons</b>	1.53E-02	1.73E-03	1.70E-02

**Tableau 25 : Résultats des calculs de risque effets toxiques Enfants – Zone pomperie**

Substances	ERI Inhalation zone de pêche	ERI Inhalation Poussières - zone de pêche	Somme des ERI Adultes
Anthracène (Sol)	1.38E-10		1.38E-10
Arsenic (+III) (Sol)		3.31E-08	3.31E-08
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	2.51E-09		2.51E-09
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	3.97E-14		3.97E-14
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	3.37E-13		3.37E-13
Benzo(a)Anthracène (Sol)	1.13E-10		1.13E-10
Benzo(a)Pyrène (Sol)	2.55E-12		2.55E-12
Cadmium (Sol)		5.55E-08	5.55E-08
Chloroforme [Trichlorométhane] (Nappe)	3.66E-09		3.66E-09
Chlorure de vinyle [Chloroéthène] (Nappe)	2.83E-10		2.83E-10
Chrysène (Sol)	2.09E-13		2.09E-13
Dibenzo(a,h) Anthracène (Sol)	6.00E-14		6.00E-14
Dibromoéthane 1,2- (Nappe)	2.53E-06		2.53E-06
Dichloroéthane, 1,2- (Nappe)	9.67E-10		9.67E-10
Fluoranthène (Sol)	6.44E-12		6.44E-12
Fluorène (Sol)	9.63E-12		9.63E-12
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	8.10E-14		8.10E-14
PCBs (Sol)	7.14E-10		7.14E-10
Phénanthrène (Sol)	5.67E-10		5.67E-10
Plomb (Sol)		1.48E-09	1.48E-09
Pyrène (Sol)	2.95E-12		2.95E-12
Somme avec doublons	2.54E-06	9.01E-08	2.63E-06
Somme sans doublons	2.54E-06	9.01E-08	2.63E-06

**Tableau 26 : Résultats des calculs de risque effets cancérigènes Adultes – Zone pomperie**

Substances	ERI Inhalation zone de pêche	ERI Inhalation Poussières - zone de pêche	Somme des ERI Enfants
Anthracène (Sol)	4.15E-11		4.15E-11
Arsenic (+III) (Sol)		6.63E-09	6.63E-09
Benzo (b)Fluoranthène (Sol)	7.53E-10		7.53E-10
Benzo (g,h,i)Pérylène (Sol)	1.19E-14		1.19E-14
Benzo (k) Fluoranthène (Sol)	1.01E-13		1.01E-13
Benzo(a)Anthracène (Sol)	3.38E-11		3.38E-11
Benzo(a)Pyrène (Sol)	7.65E-13		7.65E-13
Cadmium (Sol)		1.11E-08	1.11E-08
Chloroforme [Trichlorométhane] (Nappe)	1.10E-09		1.10E-09
Chlorure de vinyle [Chloroéthène] (Nappe)	1.07E-09		1.07E-09
Chrysène (Sol)	6.26E-14		6.26E-14
Dibenzo(a,h) Anthracène (Sol)	1.80E-14		1.80E-14
Dibromoéthane 1,2- (Nappe)	7.58E-07		7.58E-07
Dichloroéthane, 1,2- (Nappe)	2.90E-10		2.90E-10
Fluoranthène (Sol)	1.93E-12		1.93E-12
Fluorène (Sol)	2.89E-12		2.89E-12
Indeno(1,2,3,c,d)Pyrène (Sol)	2.43E-14		2.43E-14
PCBs (Sol)	2.14E-10		2.14E-10
Phénanthrène (Sol)	1.70E-10		1.70E-10
Plomb (Sol)		2.96E-10	2.96E-10
Pyrène (Sol)	8.86E-13		8.86E-13
Somme avec doublons	7.62E-07	1.80E-08	7.80E-08
Somme sans doublons	7.62E-07	1.80E-08	7.80E-08

**Tableau 27 : Résultats des calculs de risque effets cancérigènes Enfants – Zone pomperie**

Les résultats montrent que, dans le cadre d'un aménagement en zone de pêche, à partir des concentrations maximales mesurées et des seuils préconisés, aucun dépassement des valeurs seuils de 1 et  $10^{-5}$  n'est observé.

Toute reconversion du site pour un autre usage devra être étudiée et fera l'objet d'une mise à jour de l'ARR et du Plan de Gestion.

Nous rappelons que les hypothèses constructives retenues par Antea Group dans le cadre de cette étude deviennent des mesures constructives à appliquer a minima.

A noter que la mise en place d'un bâtiment sur cette zone nécessiterait une dépollution avec un seuil en 1,2-Dibromoéthane dans la nappe de 0,1 mg/l

## **1.7. Incertitudes sur les calculs de risques**

### **1.7.1. Incertitudes portant sur la définition des cibles et des usages**

L'usage du site retenu est un usage d'habitation ou tertiaire/industriel. Nous avons pris en compte les voies d'exposition (inhalation et ingestion) qui nous paraissent les plus pertinentes, au vu des aménagements futurs.

Les caractéristiques des aménagements (taux de renouvellement de l'air, épaisseur de dalle, ...) utilisées sont des valeurs standards classiquement retenues pour ce type d'aménagement ou des mesures constructives.

### **1.7.2. Choix des paramètres d'entrée**

#### **1.7.2.1. Choix des substances**

L'ensemble des composés présentant au moins une concentration supérieure à la limite de quantification du laboratoire et disposant d'une VTR pour les voies d'exposition considérées ont été retenues.

Dans une approche sécuritaire nous avons associé aux hydrocarbures volatils la répartition (aliphatique ou aromatique) qui entraînait les risques les plus importants.

### **1.7.3. Caractéristiques physico-chimiques des polluants et valeurs toxicologiques de référence**

Les relations dose-réponse utilisées dans la présente étude sont celles disponibles en l'état actuel des connaissances.

Les VTR sont soumises à des incertitudes. Ces facteurs d'incertitudes sont précisés dans le chapitre relatif au VTR.

### **1.7.4. Incertitudes liées aux modèles utilisés**

Tous les modèles utilisés sont sécuritaires et donc majorants pour le calcul des concentrations au point d'exposition.

#### **1.7.4.1. RBCA**

Le modèle RBCA est reconnu internationalement.

L'un des paramètres principaux de ce modèle est la vitesse du vent. Nous avons considéré une vitesse moyenne sécuritaire de 3 m/s.

Ce modèle a fait l'objet d'une étude par l'INERIS : « Évaluation Détaillée des Risques pour la santé - Fiches techniques de présentation des modèles d'exposition aux sols pollués - RBCA TOOL KIT» (octobre 2002).

#### 1.7.4.2. Johnson et Ettinger et Volasoil

Les modèles de JOHNSON ET ETTINGER ET VOLASOIL sont également reconnus internationalement. Le modèle Johnson et Ettinger prend en compte simultanément les phénomènes de convection et de diffusion, ce qui se rapproche des phénomènes observés dans les sols.

L'un des paramètres importants pour la prise en compte de la convection est la perméabilité du sol à la vapeur. En fonction du type de sol, les valeurs considérées pour ce paramètre varient de  $10^{-10}$  à  $10^{-16}$  m<sup>2</sup> (valeurs bibliographiques). JOHNSON ET ETTINGER (1991) proposent d'utiliser comme valeur par défaut  $10^{-12}$  m<sup>2</sup>. Le Kv retenu dans la présente étude ( $1,10 \cdot 10^{-13}$  m<sup>2</sup>) est 10 fois plus sécuritaire que la valeur par défaut. Nous rappelons que ce Kv correspond à un sol de type argilo limoneux.

### **Rapport**

---

Titre : PLAN DE GESTION DES IMPACTS SUR LE SOUS SOL - ANCIENNE USINE AZUR CHIMIE ET PARCELLES CADASTRALES 167 A 173

Numéro et indice de version :	A 80381 /A
Date d'envoi : juillet 2015	Nombre d'annexes dans le texte : 3
Nombre de pages : 84	Nombre d'annexes en volume séparé :
Diffusion (nombre et destinataires) :	<i>X ex. client</i>
<i>1 ex. service de documentation</i>	<i>1 ex. (unité)</i>

### **Client**

---

Coordonnées complètes : **REGION P.A.C.A.**  
**DEPARTEMENT DES BOUCHES DU RHONE**  
**COMMUNE DE PORT DE BOUC**  
Service des Marchés Publics  
Hôtel de Ville  
Cours Landrison - BP 201  
13528 PORT DE BOUC Cedex

*Téléphone :*

Nom et fonction des interlocuteurs : *SEVERINE MIGNOT*

### **ANTEA**

---

Unité réalisatrice : RENV  
Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :  
*FRANCK MAURIN, interlocuteur commercial*  
*ANNE CATHERINE MARTY, responsable du projet*  
*AUBERT. M. auteur*  
*Secrétariat : Virginie GAUTHIER*

### **Qualité**

---

Contrôlé par : *Anne Catherine MARTY*  
Date : ..... - *Version A*  
..... - *Version B*  
N° du projet : PACP140124  
Références et date de la commande : 26/08/2014  
**Mots-clés** : POLLUTION METALLIQUE, FAISABILITE, DE POLLUTION