
Rouen Normandie Aménagement

ZAC DU HALAGE

CARNET DE DETAILS

NOTE DE CADRAGE ET PRINCIPALES ORIENTATIONS EN TERMES DE GESTION DE LA POLLUTION

Dossier n° A17/48

Paris, le 25 février 2019,

Le rapport et les annexes forment un tout indissociable.

INDICE	DATE	RÉDACTION	VALIDATION	MISSION
1	29/03/2018	M. SAUNEUF / E. GOURDON	V. PLICHON	MOE – PRO1
2	25/02/2019	M. SAUNEUF / E. GOURDON	V. PLICHON	MOE – PRO2

AGENCE PARIS

89 rue du Faubourg Saint Antoine
75011 PARIS
+33 9 54 46 3434
aeu.paris@aeuconseil.com

AGENCE CENTRE-OUEST

4 rue Hélène Boucher
41360 SAVIGNY-SUR-BRAYE
+33 9 64 48 66 91
aeu.ouest@aeuconseil.com

AGENCE EST

3 rue du verger aux dames
70230 VY-LES-FILAIN
+33 3 84 78 16 48
aeu.est@aeuconseil.com



SOMMAIRE

ABRÉVIATIONS	4
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	5
I. CADRE ET OBJECTIFS.....	6
II. SITE, PROJET ET CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL.....	7
1. Localisation	7
2. Présentation du projet.....	9
3. Etudes précédentes et actions menées.....	9
4. Historique du site et contexte industriel	12
5. Contexte physique.....	13
5.1. Géologie	13
5.2. Contexte hydrogéologique	13
6. Etat de pollution du site	14
III. SYNTHÈSE DES DONNÉES ET INTERPRÉTATION EN TERMES DE GESTION DE LA POLLUTION	15
1. Identification des principaux enjeux en termes de gestion	15
2. Stratégie de gestion.....	15
3. Principes de gestion.....	20
4. Application du plan de terrassement	23
5. Modalités techniques de traitement, tri et stockage des terres polluées	27
5.1. Techniques de traitement sur site	27
5.2. Tri et stockage des terres.....	28
IV. ANALYSES DES ENJEUX ET DES IMPLICATIONS SANITAIRES	28
V. CONCLUSIONS ET SUITES À DONNER.....	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Avantages et inconvénients du traitement par excavation et évacuation.....	17
Tableau 2 : Avantages et inconvénients de la barrière hydraulique.....	17
Tableau 3 : CMA calculées pour l'aménagement de bureaux sur les terrains en place.....	30
Tableau 4 : CMA calculées pour l'aménagement de bureaux sur les remblais.....	31
Tableau 5 : Dépassements des CMA pour les sols en place.....	31
Tableau 6 : Dépassements des CMA pour les déblais rapportés	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation du site	7
Figure 2 : Vue aérienne du site	8
Figure 3 : Photographies aériennes de la parcelle en 2003 et 2012	8
Figure 4 : Projet de parc.....	9
Figure 5 : Localisation des sondages réalisés au cours différentes campagnes d'investigations	10
Figure 6 : Carte piézométrique (surveillance du site, BG, 2013).....	14
Figure 7 : Localisation des zones de pollution concentrées en ammonium, azote Kjeldahl, nitrites (Source : Rapport BURGEAP 10/12/2018)	16
Figure 8 : Localisation des piézomètres sur le site, distinguant ceux à conserver et ceux à reboucher (Source : Rapport BURGEAP 10/12/2018)	18
Figure 9 : Localisation des zones de recouvrement sur le site (Source : Rapport BURGEAP 10/12/2018)	19
Figure 10 : Principe schématique de gestion des terres sur le site.....	22
Figure 11 : Terrassement et purges sur la profondeur 0-1m	23
Figure 12 : Terrassement et purges sur la profondeur 1-2m	24
Figure 13 : Terrassement et purges sur la profondeur 2-3m	25
Figure 14 : Terrassement et purges sur la profondeur 3-4m	26

Figure 15 : Schéma de principe du bioterre	27
Figure 16 : Schéma conceptuel dans le cadre du projet	29
Figure 17 : Localisation des zones concernées par les CMA et actions engagées	33
Figure 18 : Stratégie de gestion et risques résiduels	36

ANNEXES

Cartographie des impacts et anomalies dans les sols ayant des conséquences en termes de gestion
Phasage et volumes de terre

ABRÉVIATIONS

ARR :	Analyse des Risques Résiduels
BASIAS :	Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services
BASOL :	Base de données sur les sites et Sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif
BTEX :	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes
CMA :	Concentrations Maximales Admissibles
COHV :	Composés Organo-Halogénés Volatils
EDR :	Evaluation Détaillée des Risques
EQRS :	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ERI :	Excès de Risque Individuel
ESR :	Evaluation Simplifiée des Risques
ETM :	Eléments traces métalliques
HAP :	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT :	Hydrocarbures Totaux
ISDD :	Installation de Stockage de Déchets Dangereux
ISDI :	Installation de Stockage de Déchets Inertes
ISDND :	Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
QD :	Quotient de Danger

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Sont rappelés ci-après les documents comportant des informations relatives à l'environnement du site ou spécifiques à la problématique de pollution qui ont pu être exploités dans le cadre du présent rapport.

Dossier de création de ZAC – 17/10/2015

- Rapport de présentation
- Etude d'impact – INGETEC 16/07/14

Dossier de réalisation de ZAC

- Programme Global de Construction
- Compléments à l'étude d'impact – INGETEC 11/10/16
- Dossier Loi sur l'eau – INGETEC 11/10/16

Etudes de pollution

- BG Ingénieurs Conseils. Saint Gobain Isover. Evaluation Simplifiée des Risques, Saint-Etienne-du-Rouvray (76), rapport 0020.21 RN001 du 29 mars 2005 ;
- BG ingénieurs Conseils. Saint Gobain Isover. Evaluation Détaillée des Risques, Saint-Etienne-du-Rouvray (76) – Cas développé pour un usage industriel, rapport 0020.21 RN002b du 26 mars 2007 ;
- HYDROGÉOTECHNIQUE Nord & Ouest. Communauté d'agglomération Rouen Elbeuf Austreberthe (CREA). Projet ZAD du Halage, Saint-Etienne-du-Rouvray (76). Campagne de prélèvements et analyses de sols et d'eau souterraine, rapport C.OR.H.14.070 / C.14.31089, indice 0 du 24 juin 2014 ;
- ANTEA Group. ISOVER Groupe SAINT GOBAIN. Site de Saint Etienne du Rouvray (76) – Dossier de servitudes d'utilités publiques à fin 2007, rapport NIEP170198 vA du 19 juin 2017 ;
- ANTEA Group. Etablissement Public Foncier Normandie. ZAC Creaparc du Halage à St-Etienne-du-Rouvray (76). Diagnostics de l'état de pollution des sols, EQRS et gestion des terres excavées, rapport A83547 version A du 7 avril 2016 ;
- ANTEA Group. Etablissement Public Foncier Normandie. ZAC Creaparc du Halage à St-Etienne-du-Rouvray (76). Diagnostics de l'état de pollution des sols, EQRS et outils d'aide à la décision, rapport A88541 version B du 5 avril 2017.
- BURGEAP. Etablissement Public Foncier Normandie. Ancien site Saint-Gobain, ZAC Creaparc du Halage à St-Etienne-du-Rouvray (76). Recherche d'ammonium dans les sols et les eaux souterraines, Rapport CSSPNO181047 / RSPNO08214-03 WFE / OiU / EL version du 20/09/2018.
- BURGEAP. Etablissement Public Foncier Normandie. Ancien site Saint-Gobain, ZAC Creaparc du Halage à St-Etienne-du-Rouvray (76). Outil d'aide à la décision, Rapport CSSPNO181047 / RSPNO08418-03 WFE / OIU / EL version du 10/12/2018.

Etude géotechnique

- HYDROGÉOTECHNIQUE Nord & Ouest. Communauté d'agglomération Rouen Elbeuf Austreberthe (CREA). Projet ZAD du Halage, Saint-Etienne-du-Rouvray (76). Missions géotechniques G1-G2 AVP, rapport C.14.31089 indice 1 du 7 août 2014.

I. CADRE ET OBJECTIFS

Le site du Halage localisé sur la zone économique de Saint-Etienne-du-Rouvray a été choisi pour accueillir une Zone d'Aménagement Concerté à vocation industrielle et tertiaire.

Le projet, implanté sur un site d'environ 15,9 ha, prévoit, à la suite de travaux de terrassements nécessaires notamment à la gestion des eaux, la prévention des inondations et la mise en conformité avec le PPRI (mise hors d'eau des terrains à bâtir, compensation hydraulique, stockage des eaux pluviales), la création de voies de circulation et de réseaux desservant de futurs îlots privés dédiés à l'implantation d'entreprises, ainsi que l'aménagement d'une bande technique et écologique accueillant des ouvrages de gestion des eaux et des dispositifs de compensation écologique. La communauté d'Agglomération a donc pour objectif d'effectuer une réhabilitation du site adaptée aux contraintes de pollution et aux usages futurs du site.

Le site étant concerné par une pollution des sols et des eaux souterraines, des mesures de gestion doivent accompagner la mise en œuvre de l'aménagement afin de garantir sa faisabilité et sa conformité aux plans sanitaire, technique, réglementaire et financier.

En tant qu'assistant à la maîtrise d'œuvre du projet, l'ATELIER D'ÉCOLOGIE URBAINE a été missionné afin d'élaborer un plan de gestion de la pollution. Une telle démarche a pour but de définir les modalités de réhabilitation d'un site pollué, permettant la maîtrise des sources de pollutions ou de leurs impacts.

Dans la mesure où cette démarche a déjà été engagée lors d'études précédentes et où les orientations en termes de gestion y ont été en grande partie définies (sur la base des mêmes principes d'aménagement), le travail de l'équipe de maîtrise d'œuvre a pour objet de faire la synthèse et l'analyse (critique) des données disponibles en matière de pollution et des mesures envisagées, de mettre à jour la conception de ces mesures vis-à-vis des caractéristiques techniques du projet, et d'affiner les estimations associées, de rechercher des pistes d'optimisation éventuelles, et enfin de préciser les modalités techniques de mises en œuvre de ces mesures et d'en réduire les aléas et incertitudes (notamment en identifiant les études complémentaires à mener).

Cette démarche très opérationnelle s'appuie donc largement sur les études précédentes, en particulier sur les orientations de gestion définies par ANTEA dans ses rapports de 2016 et 2017. Au plan méthodologique, elle correspond d'avantage à étude de conception qui pourra être poursuivie par des études de projet au sens de la norme NF X 31-620 portant sur les prestations de services relatives aux sites et sols pollués.

L'objet de la présente note, associée au carnet de détails, est d'établir une synthèse des données environnementales disponibles, d'explicitier les grands principes de la stratégie de gestion de la pollution et d'en déduire les principales modalités d'application au projet d'aménagement et de terrassement actuel, d'identifier les principaux aléas et incertitudes à réduire et d'en déduire les actions à mener pour la suite du projet.

II. SITE, PROJET ET CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

1. LOCALISATION

Le secteur d'études s'inscrit sur la zone économique de Saint-Etienne-du-Rouvray, en rive gauche de la Seine. Ce terrain est bordé par plusieurs voies de communication structurantes : A13 via la RD 18^E, voies ferrées et voie fluviale (La Seine).

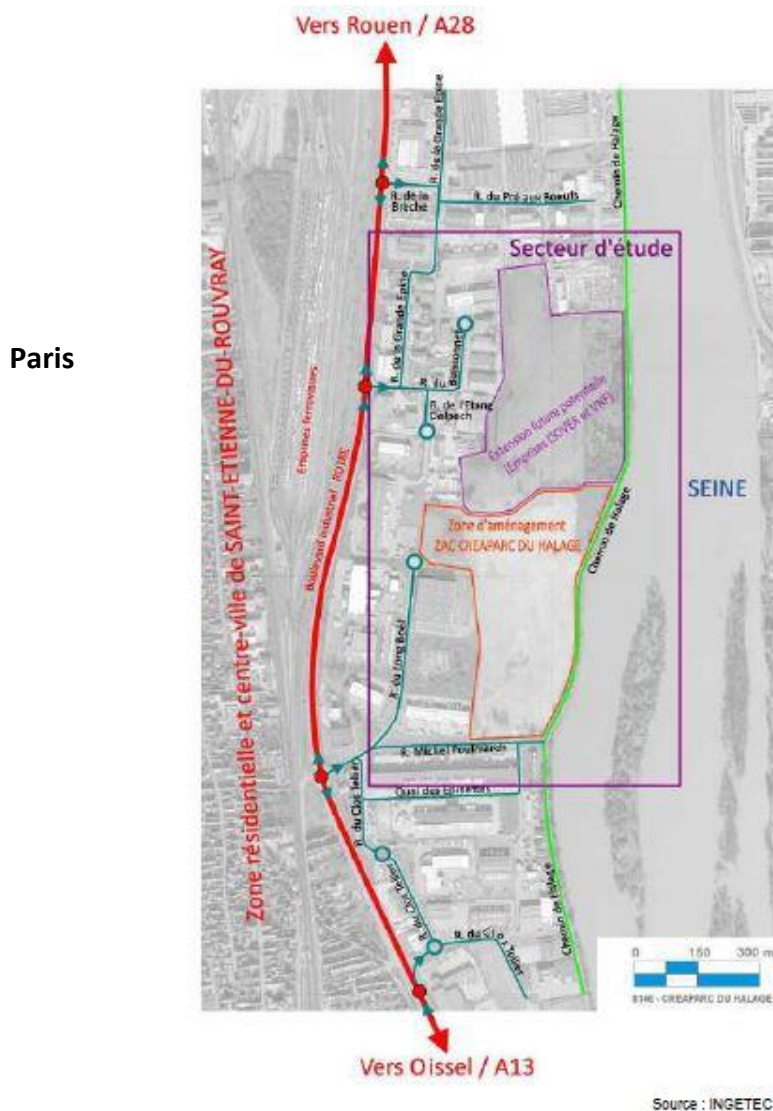


Figure 1 : Situation du site

Source : Dossier de création, Rapport de présentation

La ZAC du Halage couvre près de 15,9 hectares, au cœur du secteur de reconversion de Seine Sud, sur le territoire communal de Saint Etienne du Rouvray.

Anciens sites industriels dont le dernier occupant était la société ISOVER SAINT-GOBAIN (ISOVER fabrique et distribue depuis plus de 75 ans des produits et solutions d'isolation thermique, acoustique et de protection feu), les emprises foncières sont actuellement vierges de toutes constructions. La zone est inexploitée depuis 2004, les dernières installations ont été démantelées en 2007.



Figure 2 : Vue aérienne du site

Source : Dossier de création, Rapport de présentation



Figure 3 : Photographies aériennes de la parcelle en 2003 et 2012

Source : Dossier de création, Rapport de présentation

La ZAC présente une topographie relativement plane et une altitude à environ 6 m NGF, liée à sa localisation sur les basses terrasses alluviales en rive gauche de la Seine.

2. PRESENTATION DU PROJET

Le projet porte sur la réhabilitation du site ayant accueilli les activités de la société ISOVER SAINT-GOBAIN. Les activités futures prévues sont des entreprises industrielles et artisanales (à faibles nuisances), de PME/PMI et de services divers.

Les objectifs de la ZAC du Halage :

- Résorber la pénurie en foncier cessible disponible, notamment en mixte artisanal et industriel,
- Développer les richesses du territoire,
- Répondre aux demandes des entreprises, recherchant des sites de qualité.

Au stade conception, le projet repose sur la création des espaces publics permettant de valoriser la zone et d'accueillir les futures entreprises. Le projet prévoit le développement :

- Du réseau viaire,
- D'une réserve foncière,
- D'une bande technique et écologique.

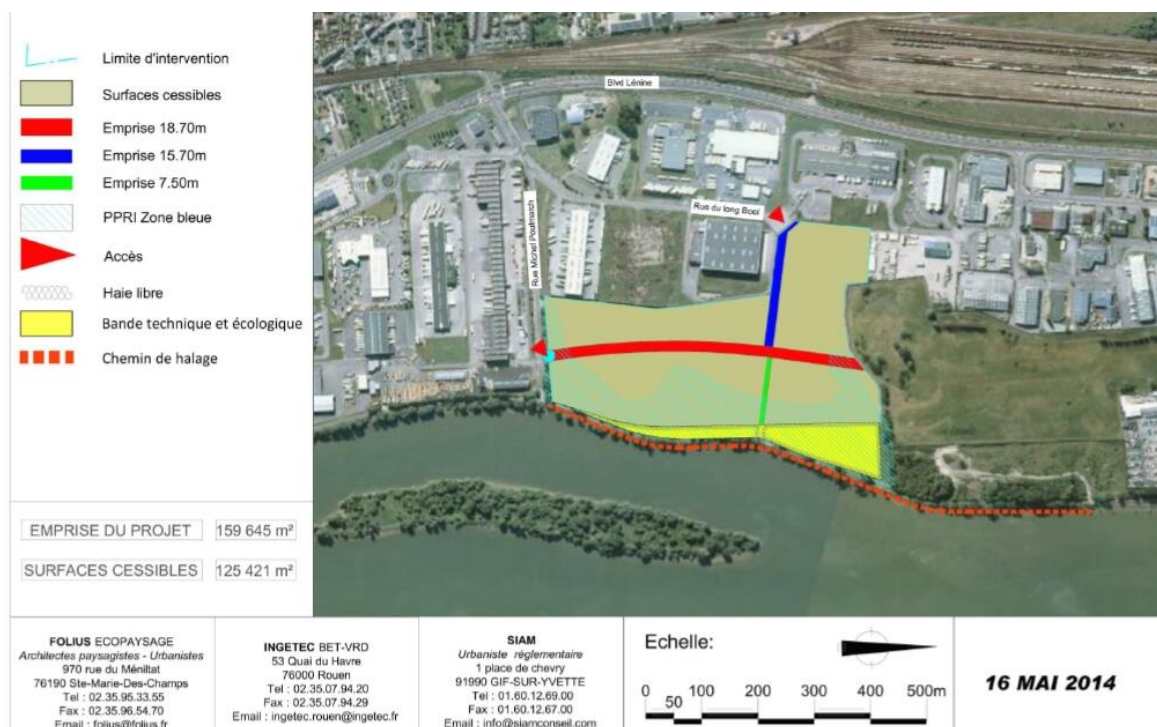


Figure 4 : Projet de parc

Source : Dossier de création, Etude d'impact

3. ETUDES PRECEDENTES ET ACTIONS MENEES

Dans le contexte de la cessation d'activité, transmise par l'exploitant en novembre 2004, la société BG Ingénieurs Conseils a réalisé les premières investigations sur le site du projet :

- Rapport BG n° FF0020_18_RNN001

Suite à ces investigations, BG réalise une Evaluation Simplifiée des Risques en mars 2005, ainsi qu'une campagne de surveillance des eaux souterraines entre avril et novembre de la même année :

- Rapport BG n° FF0020.21_RNN001
- Rapport BG n° FF002018_RNN002
- Rapport BG n° FF0020.18_RNN003
- Rapport BG n° FF0020.18_RNN004





 <p>ATELIER d'ÉCOLOGIE URBAINE AGENCE PARIS 89 rue du Faubourg Saint Antoine 75011 PARIS +33 9 54 46 34 34 aeu.paris@aeuconseil.com</p>	<p>Saint-Etienne-du-Rouvray ZAC Creaparc du Halage</p> <p>Synthèse de la pollution</p> <p>Sondages réalisés lors de l'ensemble des investigations</p>	<p>Echelle</p> <p>50 m</p>	<p>Nord</p> <p>N</p> 	<p>Légende</p> <ul style="list-style-type: none"> ● BONNARD ET GARDEL 2004 ● BONNARD ET GARDEL 2004 (aucun échantillon analysé) ● HYDROGEOTECHNIQUE 2014 ● ANTEA 2015 ● ANTEA 2016 ● BURGEAP 2018

Figure 5 : Localisation des sondages réalisés au cours différentes campagnes d'investigations

Les hypothèses de dégradation des produits nitrés identifiés dans la nappe n'ayant pas été vérifiées (dégradation des composés azotés pas aussi rapide que prévue), une Etude Détaillée des Risques (EDR) pour la santé a été prescrite par arrêté préfectoral du 16/11/2006 :

- Rapport BG n° FF0020.21_RN002b

Les résultats de l'étude simplifiée des risques ayant abouti à une notation en classe 1 du site pour l'usage « eau » au travers de son utilisation via les captages ou la Seine, le contaminant étant l'ammonium, BG a proposé la réalisation d'une Etude Détaillée des Risques.

A chaque campagne des relevés piézométriques ont été effectués afin de connaître la direction d'écoulement de la nappe et son comportement, sa relation avec la Seine (influence des oscillations du fleuve sur la nappe, alimentation par les précipitations).

L'étude détaillée des risques a été réalisée sur la base de six campagnes d'échantillonnage des sols et des eaux réalisées par BG entre 2004 et 2005. Les composés analysés sont les suivants : composés organiques volatils et semi-volatils, hydrocarbures totaux, indice phénol, PCB, métaux lourds, cyanures totaux, ammonium, nitrate, nitrite, urée, formol.

Considérant les substances, les cibles (travailleurs), les paramètres d'exposition (durée, fréquence), BG a réalisé des calculs de risque pour différents composés (ammonium, nitrates et nitrites, métaux, ...) selon les voies d'exposition (inhalation de vapeurs en intérieur et en extérieur, contact cutané, ingestion de sol). Les résultats concluent que les risques toxiques ne sont pas significatifs pour tous les scénarios pris en compte, pour les risques cancérigènes, les valeurs calculées sont inférieures à 10⁻⁵, seuil considéré comme acceptable par la législation française.

Cette étude, conclut, à l'absence de nécessité de mettre en place une dépollution pour un usage industriel du site. BG indique en effet que les sols et les eaux souterraines n'engendrent pas de risques pour les personnes fréquentant le site et la Seine. Les ressources en eaux ne sont pas affectées, les captages d'eau n'étant pas atteints par la contamination qui reste confinée au niveau du site.

En 2014, mandaté par la Direction des Grands Projets d'Aménagement MAH de la Communauté d'Agglomération Rouen Elbeuf Austreberthe (C.R.E.A), le service Environnement du Bureau d'Études Géotechniques HYDROGÉOTECHNIQUE a réalisé une campagne de prélèvements et d'analyses de sols et d'eaux souterraines :

- Rapport C.OR.H.14.070 / C.14.31089

Sur la base des résultats des analyses chimiques effectuées et des observations organoleptiques relevées lors de la réalisation des sondages, HYDROGÉOTECHNIQUE a identifié une pollution des eaux souterraines au COT, hydrocarbures totaux, plomb et sélénium ; ce qui confirme les données issues des études précédentes. Aussi, HYDROGÉOTECHNIQUE a recommandé d'interdire l'utilisation de l'eau de la nappe au droit du site que ce soit pour un usage domestique, industriel ou agricole et de maintenir le suivi de la qualité des eaux souterraines.

Enfin, à l'initiative du Président de l'Agglomération de Rouen et du préfet de Haute-Normandie, un groupe de travail a été constitué fin 2006 pour réfléchir à la reconversion et au développement de ce secteur. L'Établissement Public Foncier de Normandie (EPFN) fait partie de ce groupe de travail. Ce dernier confie à ANTEA Group la réalisation d'une analyse critique des différentes études disponibles réalisées sur le périmètre de la ZAC. ANTEA Group effectue alors en 2016 un diagnostic de l'état de pollution des sols, puis un diagnostic complémentaire en 2017 :

- rapport A83547/A
- rapport A88541/B

Dans ces deux rapports, ANTEA identifie plusieurs zones polluées en hydrocarbures et chlorobenzènes et dresse un premier plan de gestion des terres excavées, assorti d'une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) permettant d'évaluer la validité des mesures envisagées au plan sanitaire.

Les études réalisées par BG et ANTEA ont mis en évidence la présence d'ammonium et d'urée dans les sols susceptibles d'occasionner des impacts significatifs dans la nappe. Une étude complémentaire pour une recherche d'ammonium étendue à l'ensemble du site réalisée par le bureau d'études BURGEAP, a été mandatée par l'EPFN.

- Rapport CSSPNO181047 / RSPNO08214-03 WFE / OIU / EL version du 20/09/2018

L'étude complémentaire confirme la présence d'ammonium dans les sols et les eaux souterraines. Les formes oxydées de l'azote (nitrate et nitrite) sont prépondérantes entre 0 et 2 m environ. Les zones les plus impactées sont essentiellement localisées au nord-est et sud-est. Les formes réduites de l'azote (ammonium et azote Kjeldahl) se retrouvent essentiellement dans la zone de battement de la nappe. Les impacts s'étendent principalement au droit de la bande technique et écologique prévue au projet.

Suite à ces analyses complémentaires, BURGEAP a établi un document d'outil d'aide à la décision concernant la présence de pollution des sols et des eaux souterraines par de l'ammonium.

- Rapport CSSPNO181047 / RSPNO08418-03 WFE / OIU / EL version du 10/12/2018

Les mesures de gestion préconisées par BURGEAP sont expliquées dans le paragraphe de stratégie de gestion (paragraphe III.2).

4. HISTORIQUE DU SITE ET CONTEXTE INDUSTRIEL

En 1916, le site était occupé par la fonderie de Lorraine produisant des obus. Après la guerre, la production se reconvertit en fabrication de tuyaux en fonte pour l'adduction en eau et en fabrication de pièces pour les chemins de fer. Au cours de cette période, le laitier et les déchets de fonderie (scories, cendres) sont utilisés pour combler les étangs situés au nord du site. La partie ouest de la zone d'étude est utilisée par la fonderie jusqu'en 1980.

A partir de 1947, la partie est du site est cédée à Roclaine, société spécialisée dans la fabrication de matériaux isolants à base de laine de roche.

La partie ouest est utilisée par la fonderie jusqu'en 1980.

Entre 1962 et 1980, des rebuts de fabrication dont de la marinite (plâtre et amiante) ont été enfouis sur la partie est du site, côté Seine. Les déchets enfouis dans cette zone sont de la laine de roche, des fonds de cubilot et peut-être même de la marinite (sources : Dossier de cessation d'activité et rapport ANTEA A88541/B).

Selon le rapport d'ANTEA et le dossier de cessation d'activités, il est possible que d'autres activités aient pu avoir un impact potentiel sur l'environnement du site :

- Existence d'une ancienne chaufferie comprenant 3 cuves hors sol de fuel lourd et léger jusqu'en 1970 et remplacées ensuite par 2 cuves hors sol de 1970 à 1978, démantelées lors du passage du site au gaz naturel,
- Existence dans le magasin d'emballages d'un atelier d'entretien de machines de 1970 à 1985,
- Existence d'un garage adjacent au magasin de stockage au nord du site jusqu'en 1973,
- Existence d'une cuve gasoil hors sol simple peau.

Lors de la réalisation de son EDR, la société BG listait également d'autres zones de stockage sur le site :

- Stockage de matières premières organiques : urée, ammoniac et résine formophénolique,
- Station-service, comportant une cuve enterrée de 30 m³ placée dans une rétention en béton,
- Autres stockages d'hydrocarbures : cuve enterrée d'huile thermique, 2 cuves hors sol de 100 à 120 m³ de bitume, une zone de stockage d'huiles neuves et jusqu'en 1991, du trichloroéthylène en fûts. Ces stockages sont tous sur rétention béton,
- Fosses d'eau recyclée chargée en formol, urée, phénols et ammoniac,
- Zone de stockage des déchets et du tri sélectif. Cette zone jusqu'en 1981 a abrité une zone de déchets de maintenance : stockage de fûts d'huiles et de trichloroéthylène usagés et des chiffons huileux.

Les activités semblent se poursuivre jusque dans les années 2000.

En 2004, ISOVER, le dernier exploitant du site, cesse son activité.

Suite à la cessation d'activité, le site a été totalement déconstruit, une partie des matériaux de démolition a été laissée en couches plus ou moins uniformes sur le site sur une épaisseur d'environ 10 cm. La zone contenant potentiellement de la marinite a été clôturée.

5. CONTEXTE PHYSIQUE

5.1. Géologie

Selon les études environnementales les terrains naturels sont composés par des alluvions déposés par la Seine (vases, sables et graviers) sur une épaisseur d'environ 10 m, reposant sur le socle crayeux caractéristique de la région. Les alluvions étant peu stables, ils sont recouverts de matériaux d'apport (terre végétale, remblais caillouteux) ou de superstructures (dalles béton) sur une épaisseur variable mais généralement inférieure à 1 m.

Lithologie au droit du site

Lors de l'ESR réalisée en 2005, BG décrit la lithologie locale comme suit :

- De 0 à -0,5 -3,0 m (selon zone du site) : remblais constitués d'un mélange divers et hétérogène de sable limoneux, sable graveleux, de scories de fonderie et de laine de roche.
- de -0,5 à -2,5 m (selon zone du site) : du sable graveleux, fin à grossier, mal classé, moyennement à très dense.
- dès -1,8 à -2,5 m : argile, argile limoneuse à limon argileux de plasticité haute à moyenne, molle à ferme, grise à beige. Des indices de contamination (odeur, décoloration) ont souvent été observés sur le sommet de ces argiles, se poursuivant parfois jusqu'au fond du sondage vers 3 m de profondeur.
- l'argile se poursuit en profondeur jusque vers 8 mètres de profondeur, raison pour laquelle les puits d'observation ont tous été installés au-delà de celle-ci. La composante argileuse varie des bords de Seine où elle domine associée à de la tourbe, vers la partie ouest du site où les composantes limoneuses et sableuses sont plus présentes ;
- Dès -8 à -8,5 m. de profondeur, apparaît un sable limoneux très fin avec quelques graviers (silex) et ne contenant que peu d'eau, La composante graveleuse est plus importante côté ouest que côté Seine ce que manifestent les développements et purges réalisées sur les ouvrages (P05 et P06 donnent moins d'eau que les autres) ;
- Fonds des ouvrages entre -10 et -10,5 m sans atteindre la craie mais seulement sa partie supérieure altérée sous forme de graviers beige clairs à silex sur les derniers centimètres de forage.

Les études ultérieures confirment la présence de remblais anthropiques pouvant atteindre au moins 2 m de profondeur, et comportant des résidus de démolition divers, des mâchefers et localement des déchets liés aux anciennes activités du site (laine de verre, pâte à papier).

Dans la bande technique, les remblais comportent localement des passes de couleurs noires fréquemment associées à l'observation d'odeurs d'hydrocarbures. Des odeurs de solvant sont ponctuellement notées sur une des parcelles (zone « chlorobenzènes »)

5.2. Contexte hydrogéologique

Les alluvions de la Seine contiennent la nappe d'accompagnement du fleuve qui est alimentée par les précipitations. Selon les études, cette nappe alluviale est située entre 2 et 5 m de profondeur. Celle-ci varie en fonction du niveau de la Seine, en lien avec les marées. Elle est même susceptible en période de fortes précipitations et de hautes marées de remonter pratiquement jusqu'au niveau du terrain, pouvant induire des inondations.

Lors de sa campagne de prélèvements et d'analyses de sols et d'eaux souterraines en 2014, HYDROGEOLOGIE a effectué des relevés de niveaux d'eau au droit des trois piézomètres PZ1, PZ2 et PZ3. Les données piézométriques mettent en évidence la présence de la nappe entre 2,05 et 2,90 m de profondeur.

Du fait de sa faible profondeur la nappe alluviale présente une vulnérabilité importante vis-à-vis des pollutions de surface. Elle est en outre en lien hydraulique avec la nappe de la Craie sous-jacente.

Celle-ci est exploitée pour la production d'eau potable, notamment au niveau du champ captant de la Chapelle

situé à moins de 2 km au sud du site.

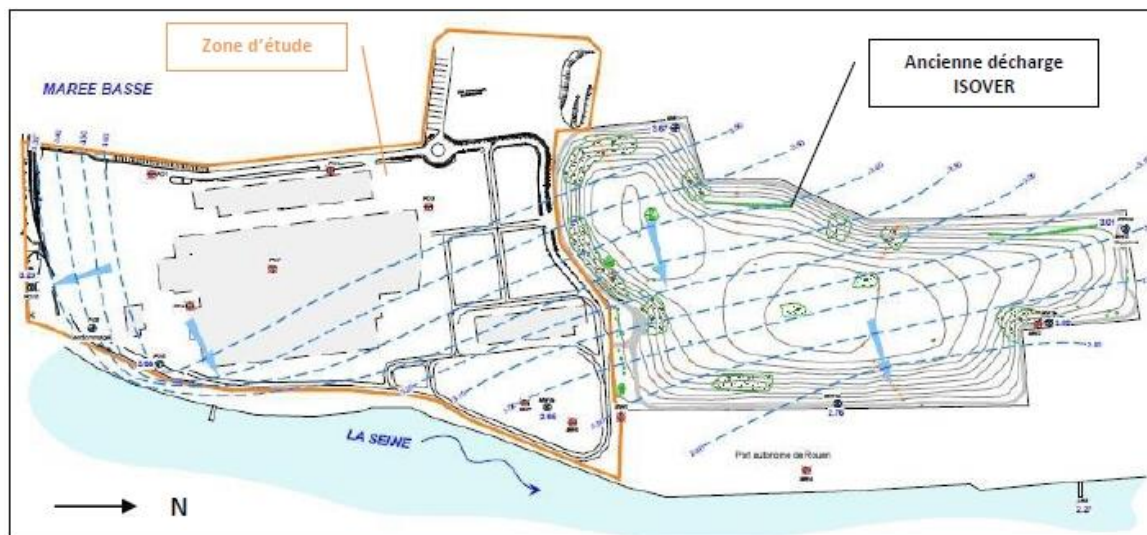


Figure 6 : Carte piézométrique (surveillance du site, BG, 2013)

D'après ANTEA, 2017

Dans le cadre de ses études, la société BG a analysé les écoulements de la nappe, mettant en évidence des écoulements complexes, dépendant de la relation entre la nappe alluviale et la Seine et des différents pompages dans ce secteur. Les études réalisées sur ce sujet semblent écarter, pour le moment, la possibilité d'un impact de la qualité des eaux au droit du site sur celle pompée au niveau des captages AEP.

6. ÉTAT DE POLLUTION DU SITE

Actuellement, plusieurs enjeux de pollution ont été identifiés par les différentes investigations menées par BG, HYDROGÉOTECHNIQUE et ANTEA entre 2005 et 2017 :

- **Chlorobenzènes** : au niveau de l'actuelle parcelle 4 en bordure ouest du site. Les concentrations maximales identifiées par BG et ANTEA sur cette zone sont respectivement de 170 mg/kg/MS et 18 mg/kg/MS.
- **Hydrocarbures** : essentiellement au droit de la bande technique à l'est du site, au centre et au nord du futur bassin. BG, HYDROGÉOTECHNIQUE et ANTEA identifient des hots spots en hydrocarbures, dont la concentration dépasse les 2 000 mg/kg/MS ainsi qu'une pollution plus éparse dont la concentration est supérieure à 500 mg/kg/MS.
- **Éléments Traces Métalliques** (arsenic, chrome et plomb, molybdène, antimoine) : identifiés par BG, HYDROGÉOTECHNIQUE ET ANTEA de manière éparse sur le site à des concentrations supérieures au bruit de fond géochimique.
- **Fluorures** : HYDROGÉOTECHNIQUE et ANTEA identifient des concentrations en fluorures au niveau de la bande technique et des voiries à des concentrations maximales de 30 mg/kg/MS.
- Des **composés azotés** tels que l'ammonium (NH₄) et l'ammoniac (NH₃), les nitrites (NO₂) et nitrates (NO₃), l'urée et du formaldéhyde, ont été également trouvés en fortes concentrations dans les eaux souterraines par BG en 2005, leur présence a été confirmée par BURGEAP lors de campagnes récentes (2018).

Les études et analyses historiques ont mis en évidence la possible présence d'amiante sur le site en raison d'enfouissement de rebus de marinite (plâtre et amiante) sur la partie est du site.

La société ANTEA a procédé à des sondages en octobre 2015 dans la zone suspectée des dépôts de marinite. Le paramètre amiante a été recherché dans les sondages (4) réalisés jusqu'à une profondeur de 3m avec échantillonnage tous les mètres. 12 échantillons ont analysés pour la recherche d'amiante, la présence d'amiante n'a pas été détectée dans les échantillons analysés.

III. SYNTHÈSE DES DONNÉES ET INTERPRÉTATION EN TERMES DE GESTION DE LA POLLUTION

1. IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX ENJEUX EN TERMES DE GESTION

Plusieurs enjeux ont été identifiés grâce aux résultats d'investigations et interprétations réalisés par ANTEA, BG, HYDROGÉOTECHNIQUE et BURGEAP. Schématiquement, ces enjeux sont de cinq ordres :

- Des impacts concentrés (en hydrocarbures et chlorobenzènes) qui nécessitent pour des raisons de maîtrise des sources et des risques sanitaires d'être purgés. Les purges ne sont pas forcément comprises dans les déblais inhérents au projet et généreront donc des volumes de déblais supplémentaires. Les matériaux excavés représentent des surcoûts importants en cas d'évacuation hors site (des filières de gestion spécifiques sont nécessaires : ISDND, biocentre voire ISDD), et également des surcoûts et contraintes en cas de réutilisation sur site (nécessité d'un traitement avant réutilisation).
- Des impacts en composés azotés dans les sols qui nécessitent la mise en recouvrement des terres impactées afin d'éviter la migration des polluants vers la nappe souterraine (prescriptions de BURGEAP).
- Des impacts modérés en hydrocarbures qui peuvent être laissés en place. Lorsqu'ils sont compris dans des zones de déblais du projet, ils présentent un surcoût en cas d'évacuation (ils doivent être évacués en ISDND) et des contraintes en termes de réutilisation (la réutilisation sous espaces constructibles est à éviter).
- Des pollutions modérées et anomalies en éléments lixiviables, qui lorsqu'elles concernent de futurs déblais du projet ne présentent pas de contraintes en termes de réutilisation, mais engendreraient des surcoûts en cas d'évacuation (peuvent nécessiter des évacuations en ISDI aménagée voire ISDND).
- Des impacts en composés azotés dans les eaux souterraines qui nécessitent la mise en place d'une barrière hydraulique et le suivi de la qualité des eaux souterraines (prescriptions de BURGEAP).

Une cartographie des impacts et anomalies dans les sols ayant des conséquences en termes de gestion des déblais a été réalisée à partir de la synthèse des différentes études et est présentée en Annexe 1.

2. STRATÉGIE DE GESTION

Si les sondages BG et HYDROGÉOTECHNIQUE ont été répartis sur l'ensemble du site, ou implantés en fonction des sources potentielles de pollution à caractériser, les sondages ANTEA ont été réalisés essentiellement dans la bande technique ou au niveau des futures voiries dans une optique de caractérisation des matériaux en tant que futurs déblais (à réutiliser sur site ou évacuer hors site).

Dans le cadre de ses missions, ANTEA a établi un plan de maillage au droit de ces futures zones générant des déblais, permettant d'identifier les possibilités de réemploi sur site ou les filières d'évacuation hors site envisageables.

Le travail réalisé par ANTEA est très largement exploité pour la suite du projet et la stratégie de gestion proposée se fonde en grande partie sur les résultats, interprétations et conclusions formulés par ANTEA.

Toutefois, suite à son étude complémentaire relative à la présence de composés azotés dans les sols et les eaux souterraines, BURGEAP a établi un document d'outil d'aide à la décision préconisant des mesures de gestion :

- Des prescriptions relatives au traitement ou à la gestion des sources de pollution identifiées et à la gestion des terres non inertes.
- Des mesures organisationnelles (gestion en phase chantier, récolement, surveillance) pour veiller à la bonne mise en œuvre de ces prescriptions.

Dans la mesure où les principes établis initialement par ANTEA pour la gestion des impacts alors connus et les prescriptions de BURGEAP ne sont pas toujours compatibles, le projet a été significativement remanié. Le travail de mise au point de la démarche de gestion comprend donc une mise à jour par rapport à ces évolutions, ainsi

qu'une synthèse et une mise en cohérence des principes retenus. Il comporte encore une part d'extrapolation et d'incertitudes, les données disponibles n'étant pas systématiquement adaptées aux dernières évolutions du projet (les zones de déblais et remblais sont modifiées et peuvent concerner désormais des matériaux peu investigués).

La localisation de l'ensemble des investigations réalisées sur le site par BG, HYDROGÉOTECHNIQUE, ANTEA et BURGEAP entre 2004 et 2018 est présentée en Figure 5 : Localisation des sondages réalisés au cours différentes campagnes d'investigations.

Les principes de gestion étudiés dans le cadre de l'outil d'aide à la décision sont les suivants :

Maitrise des sources, gestion des zones de pollution concentrées :

→ Localisation des zones de pollution concentrées

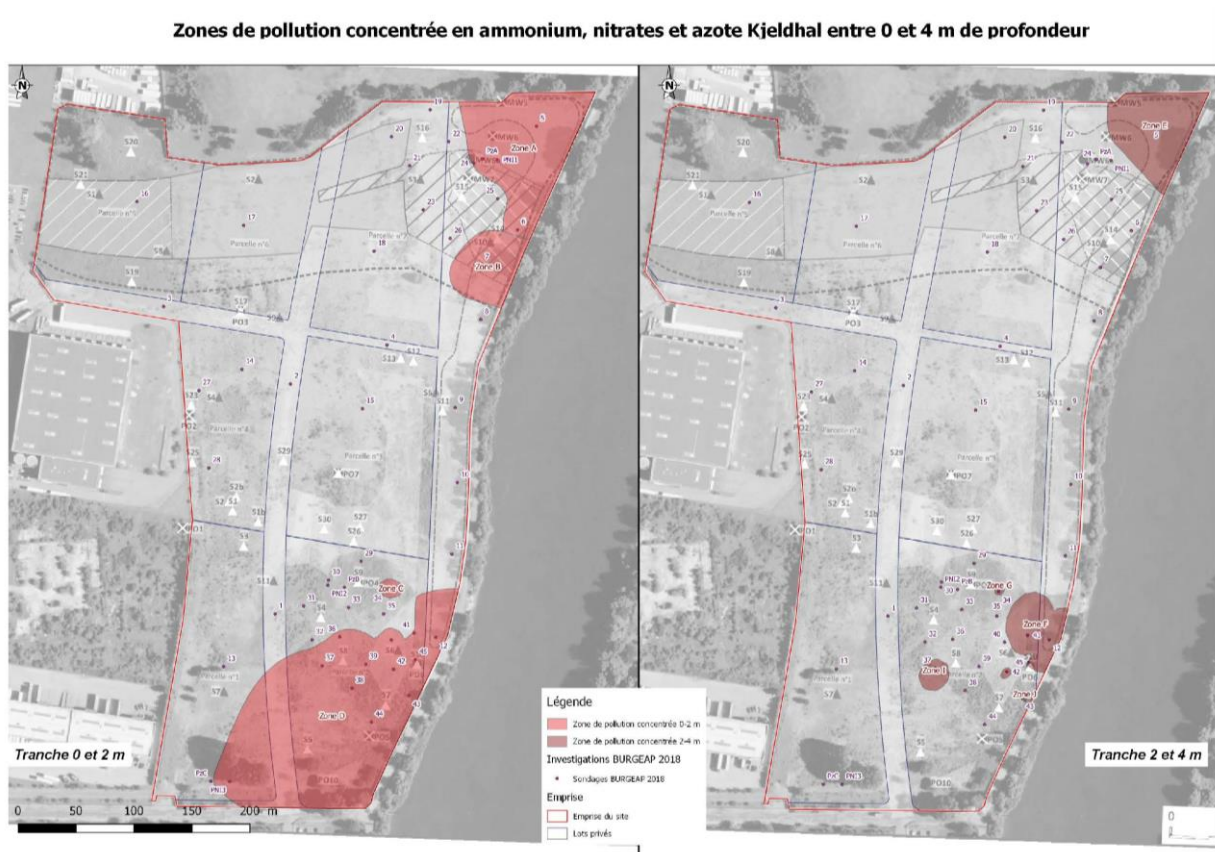


Figure 7 : Localisation des zones de pollution concentrées en ammonium, azote Kjeldhal, nitrites (Source : Rapport BURGEAP 10/12/2018)

→ Gestion des pollutions concentrées

Les techniques de traitement rappelées sont :

- In situ : traitement de la pollution en place dans le milieu où elle se trouve
- Sur site : traitement de la pollution sur site après extraction du matériau
- Hors site : traitement du matériau extrait dans une filière spécialisée

→ Coût/avantage

Traitement par excavation et évacuation	
Avantages	Suppression des sources jusqu'à 4 m de profondeur Délai de traitement court. Transfert de propriété du déchet vers le centre acceptant les terres. N'implique qu'une utilisation limitée de l'emprise du site (zones impactées).
Inconvénients	Solution laissant impacts résiduels en profondeur au-delà de 4m Solution considérée comme la plus défavorable pour le principe de développement durable. Solution peu envisageable compte tenu des volumes en jeu.

Tableau 1 : Avantages et inconvénients du traitement par excavation et évacuation
BURGEAP, 10/12/2018

Les couts estimés pour le traitement par excavation et évacuation sont de 13 990 949 €.

Maitrise des sources, réalisation d'une barrière hydraulique au droit du site :

Suite à l'étude hydraulique réalisée par ARTELIA (*étude mentionnée dans le Rapport BURGEAP de septembre 2018 « Scénarios de modélisation hydrogéologique sur le secteur nord du champ captant AEP de la Chapelle situé à Saint-Etienne-du-Rouvray – Présentation des résultats » du 06/09/2018*) révélant une influence du site ISOVER sur le captage AEP de la Chapelle situé en aval au sud, et dans l'objectif de protéger cette ressource, la mise en place d'une barrière hydraulique a été étudiée par ARTELIA.

Barrière hydraulique	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • On traite directement les eaux chargées qui sortent du site • Coûts d'investissement réduits par rapport à de l'évacuation hors site
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts élevés de mise en place du ou des ouvrages et de maintenance (débits très élevés 500 m3/h) ; • Station de traitement potentiellement nécessaire ; • Absence de réel traitement de l'azote ; • Servitudes ; • Essais de traitabilité ; • Essais de pompage ; • Autorisation de rejet nécessaire (concertation avec l'Agence de l'eau) ; • Pompages permanents et frais de fonctionnement

Tableau 2 : Avantages et inconvénients de la barrière hydraulique
BURGEAP, 10/12/2018

Les couts estimés pour la réalisation de l'ouvrage sont de 700 000 € et 70 000 € pour fonctionnement et maintenance.

Surveillance des eaux souterraines :

Des piézomètres ont été répartis sur le site avec un suivi de la qualité des eaux souterraines mis en place dès 2004. Le suivi des eaux souterraines via des piézomètres installés sur le site est à poursuivre.

La mise en place de piézomètres hors site avec un suivi de la qualité des eaux souterraines est également préconisée.



Figure 8 : Localisation des piézomètres sur le site, distinguant ceux à conserver et ceux à reboucher (Source : Rapport BURGEAP 10/12/2018)

Mesures dans le cas de réaménagement du site :

→ **Gestion des canalisations d'eau potable**

Les canalisations d'eau potable seront préférentiellement implantées en dehors des zones impactées par la pollution. Dans le cas contraire les canalisations seront anti-perméation et réalisées en tranchées remplies de sable.

→ **Recouvrement, imperméabilisation des sols**

Un recouvrement des sols au droit des zones présentant les plus fortes concentrations en composés azotés (zones nord et sud) est préconisé.

→ **Infiltration des eaux pluviales au droit du site**

Le recours à l'infiltration des eaux pluviales au droit de l'ensemble du site est déconseillé par BURGEAP.

→ Gestion des déblais pour un futur projet

Conformément au plan de gestion établi par ANTEA une partie des terres impactées peut être réutilisée sur site en ayant recours à leur confinement.

BURGEAP déconseille la réutilisation des terres fortement impactées aux composés azotés et préconise une évacuation hors site en filières spécialisées.

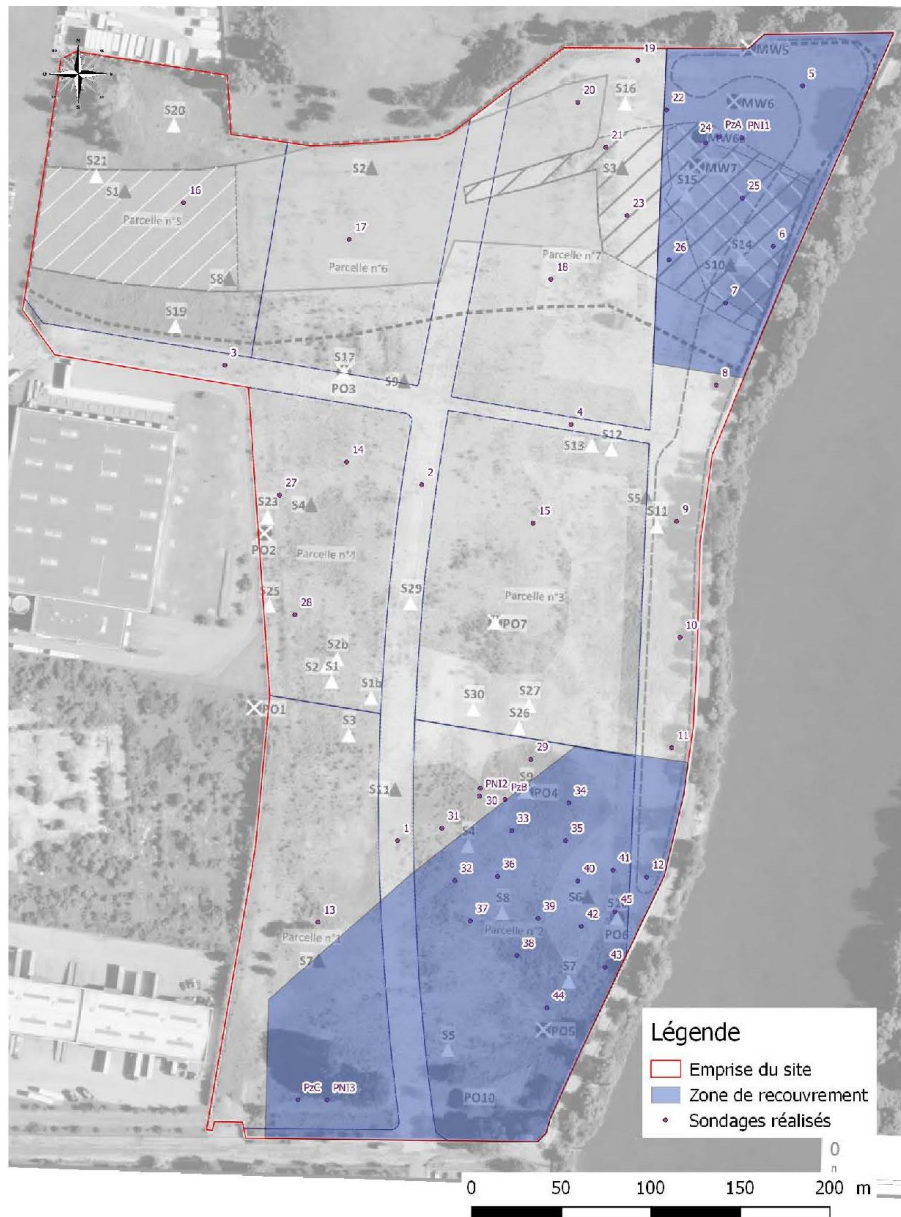


Figure 9 : Localisation des zones de recouvrement sur le site (Source : Rapport BURGEAP 10/12/2018)

Il est nécessaire de recalculer ces résultats et travaux antérieurs par rapport aux évolutions, précisions et optimisations apportées au projet en cours de mise en œuvre, et de procéder à une synthèse et une analyse critique de ces données afin de bien identifier les besoins d'informations complémentaires, les incertitudes à lever, et les éventuelles pistes d'optimisation.

3. PRINCIPES DE GESTION

A partir des éléments de synthèse présentés ci-avant, dans le cadre d'un projet à la fois générateur de déblais (liés à la réalisation du bassin et des voiries, et à la gestion des impacts concentrés) et demandeur de remblais (au niveau des espaces privés notamment), la stratégie visant à réutiliser au maximum les déblais sur site et à réduire autant que possible les évacuations hors site pourra se fonder sur les grands principes suivants :

- Excepté pour la zone sud, au droit des voiries, les terres issues du décapage et des déblaiements nécessaires pour le projet ne présentent pas de contre-indication en matière de réutilisation, les terres extraites peuvent être réutilisées sur site sous voiries, sur les espaces privés ou au droit de la bande écologique.
- Sur la parcelle 4, présentant une pollution significative aux chlorobenzènes localisée à une profondeur de 2 à 4 m, une purge des terres impactées est préconisée. Un traitement sur site est envisagé (option à valider après essais de traitabilité), la réutilisation après traitement reste à définir (préférentiellement sous voirie ou sur bande technique).
- Au droit du bassin, des impacts concentrés en hydrocarbures justifieraient également des purges localisées jusque vers 4 m de profondeur. Les terres seraient à traiter sur site (option à valider après essais de traitabilité), la réutilisation après traitement reste à définir selon les performances attendues du traitement.
- Les déblais liés uniquement au projet et non aux purges (creusement du bassin de rétention) peuvent en grande partie être réutilisés sous espaces privés, sauf sources concentrées en hydrocarbures (traitement) ou impacts modérés (valeurs inférieures à 2000 mg/kg, à réutiliser préférentiellement sous voiries) ou impacts en composés azotés (dont les terres ne peuvent pas être réutilisées).
- Les zones situées au nord et au sud du site présentant des teneurs concentrées en composés azotés, sont préférentiellement non terrassées et font l'objet d'un recouvrement spécifique. Dans le cas d'un terrassement lié aux impératifs du projet, les terres excavées seront évacuées en ISDND.

Les quatre plans présentés dans la partie III.4 « Application du plan de terrassement » illustrent ces orientations en termes de terrassement et purges pour les 4 tranches de profondeur prises en compte (0-1m, 1-2m, 2-3m, 3-4m). Pour chaque carte la légende est la même:

- **en vert** les terres qui peuvent être réutilisées n'importe où sur le site (sous les voiries, sur les espaces privés, au niveau de la bande technique),
- **en jaune** les terres présentant des impacts modérés en hydrocarbures et devant être réutilisées préférentiellement sous voiries et dans la zone qui sera imperméabilisée (zone impactée par les composés azotés),
- **en rouge** les hot spots en hydrocarbures et en chlorobenzènes, ils indiquent les terres présentant de fortes teneurs en hydrocarbures et en chlorobenzènes, nécessitant des purges et un traitement avant réutilisation éventuelle.
Ces hot spots apparaissent essentiellement en profondeur (à partir de 2 m). Ils comprennent en outre des surprofondeurs par rapport aux cotes finies du projet et généreront donc des volumes supplémentaires à purger.
- **en grisé**, les zones où il manque des informations et qui présentent des incertitudes quant à leur orientation. Pour le calcul des volumes de terres excavées à gérer nous avons extrapolé une répartition de ces terres dans les 3 classes précédemment présentées selon des principes basés sur des critères objectifs qui sont expliqués ci-après.
- les zones **bleutées** et hachurées localisent les zones devant faire l'objet d'un recouvrement spécifique en raison de la présence de composés azotés (BURGEAP).

Principes d'extrapolation pour la répartition des terres pour lesquelles il nous manque des informations.

Pour chaque tranche de profondeur les zones en grisé ont été subdivisées en sous-zones et identifiées avec des lettres :

- Les zones A et C représentent les noues arrivant au bassin, celles-ci se situent dans des secteurs présentant une possibilité de pollution relativement faible car elles sont situées hors zone de décharge.
- Les autres zones sont nommées B et D, celles-ci présentent une probabilité de pollution plus élevée compte tenu de leur présence dans la zone de décharge.

Il est à noter que les terres présentent une forte hétérogénéité dans la répartition verticale des polluants.

Pour la tranche 0-1 m :

- Zones A et C : Afin de répartir ces terres dans les 3 classes d'orientation définies (vert, jaune et rouge), il a été décidé que 80% des terres seront considérées dans la classe verte, 10% dans la classe jaune et 10% dans la classe rouge. Ces ratios reposent sur les critères suivants : la localisation centrale de ces zones présentant une probabilité de pollution des sols limitée (hors zone de décharge), et la lithologie des sols sur cette tranche de profondeur (matrice sablonneuse à sablo-argileuse avec de nombreux cailloux) favorisant la migration des polluants vers les couches sous-jacentes.
- Zone B : La répartition prise en compte pour cette zone est la suivante : 80% des terres en classe verte, 15% en classe jaune et 5% en classe rouge. Ces ratios s'appuient sur les critères suivant : la localisation de la zone (à l'extrémité est, au droit de l'ancienne décharge, zone présentant une pollution aux hydrocarbures), la lithologie à cette tranche de profondeur, et la qualité des sols renseignée par les sondages voisins du secteur.

Pour la tranche 1-2 m :

- Zones A et C : La répartition de ces terres dans les différentes classes de qualité s'est fondée sur les mêmes critères que ceux utilisés pour la tranche de profondeur inférieure (0-1m).
- Zone B : cette zone est localisée au nord du futur bassin, dans la zone impactée par les hydrocarbures. La lithologie à cette profondeur ainsi que les résultats des analyses à proximité ont orienté vers le choix suivant : 70% des terres en classe verte, 20% en classe jaune, et 10% en classe rouge.
- Zone D : en se fondant sur les mêmes critères que ceux utilisés pour la zone B, il a été décidé de considérer 50% de ces terres en classe verte, 30% en classe jaune et 20% en classe rouge.

Pour la tranche 2-3 m :

- Zone B : Au regard de la lithologie plutôt argileuse sur cette tranche de profondeur, et au vue de la qualité connue des terres à proximité de cette zone, il a été décidé de répartir ces terres selon le ratio suivant : 20% en classe verte, 60% en classe jaune et 20% en classe rouge.
- Zone D : Toujours au regard de la lithologie et de la qualité des terres à proximité de cette zone, la répartition suivante est considérée : 20% des terres en classe verte, 40% en classe jaune et 40 % en classe rouge.

Pour la tranche 3-4m :

Cette tranche n'est pas concernée par les terrassements pour la réalisation du bassin de rétention des eaux pluviales, elle est concernée par des purges liées à la présence localisée de fortes teneurs en hydrocarbures. Dans le cas d'un terrassement plus profond pour le bassin, les terres non concernées par les hot spots en hydrocarbures ont été classées en gris avec la répartition suivante : 10% en vert, 70% en jaune et 20% en rouge.

Un plan schématique expliquant la gestion des terres sur le site et reprenant ce code couleur est présenté ci-après.

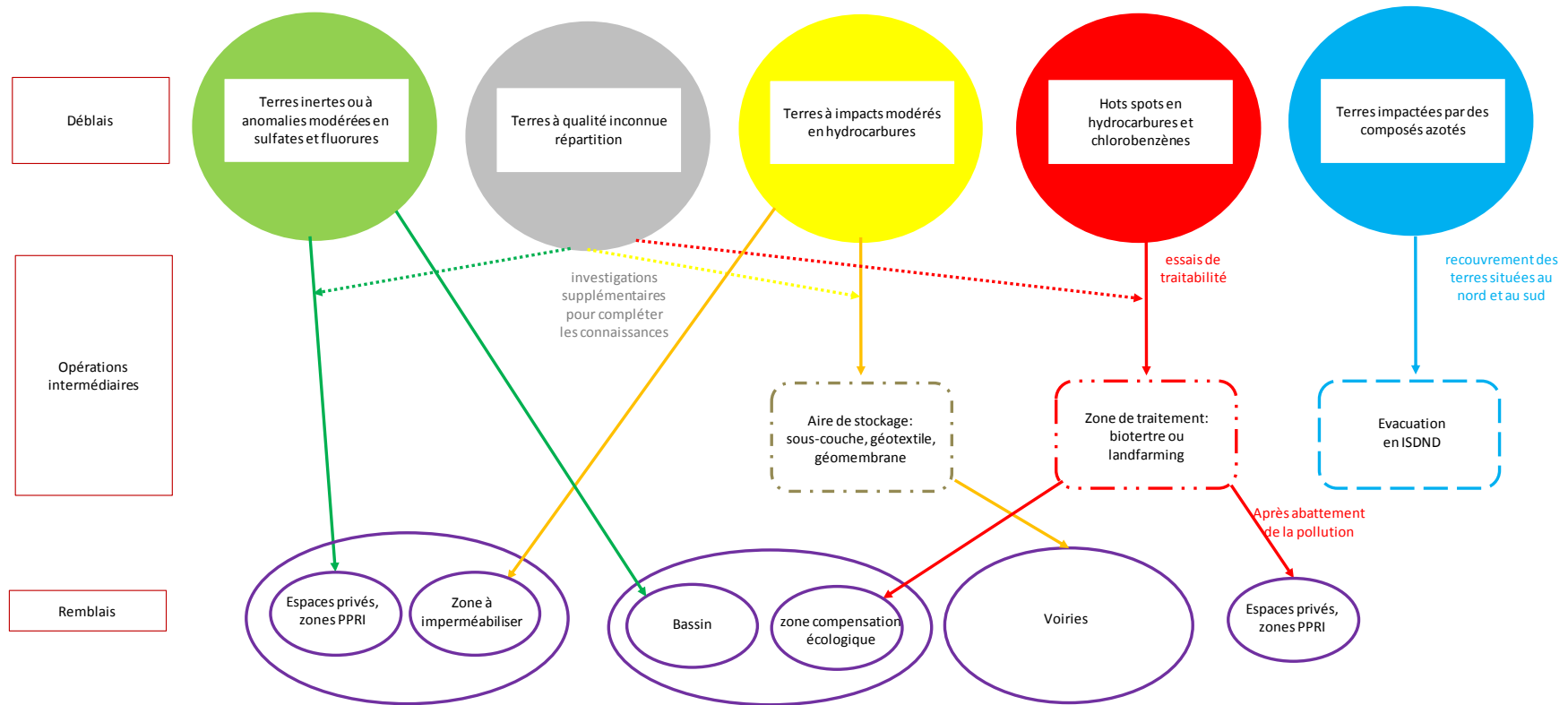


Figure 10 : Principe schématique de gestion des terres sur le site

4. APPLICATION DU PLAN DE TERRASSEMENT

Les quatre plans suivants illustrent les orientations en termes de terrassement et purges en fonction des enjeux identifiés précédemment.

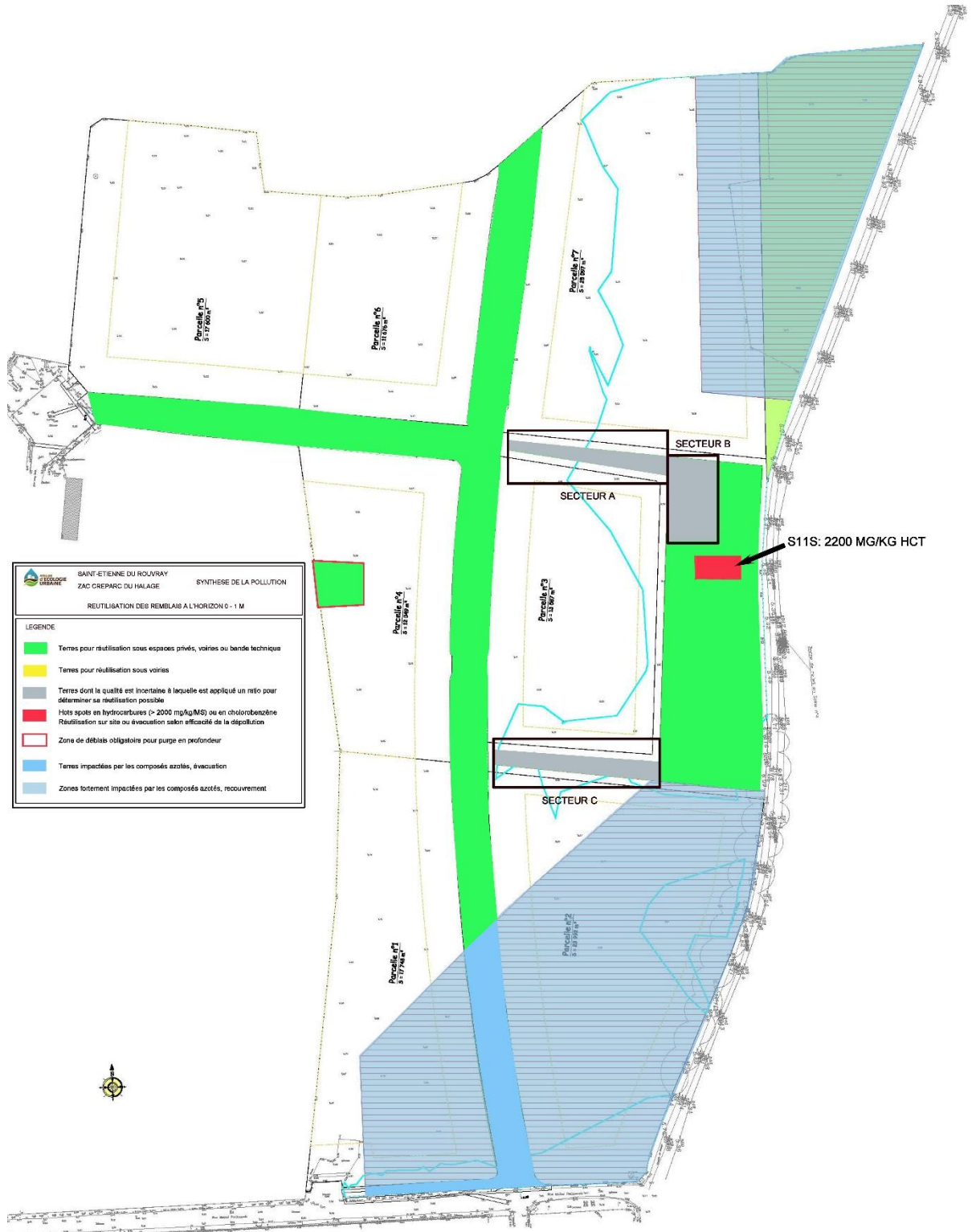


Figure 11 : Terrassement et purges sur la profondeur 0-1m

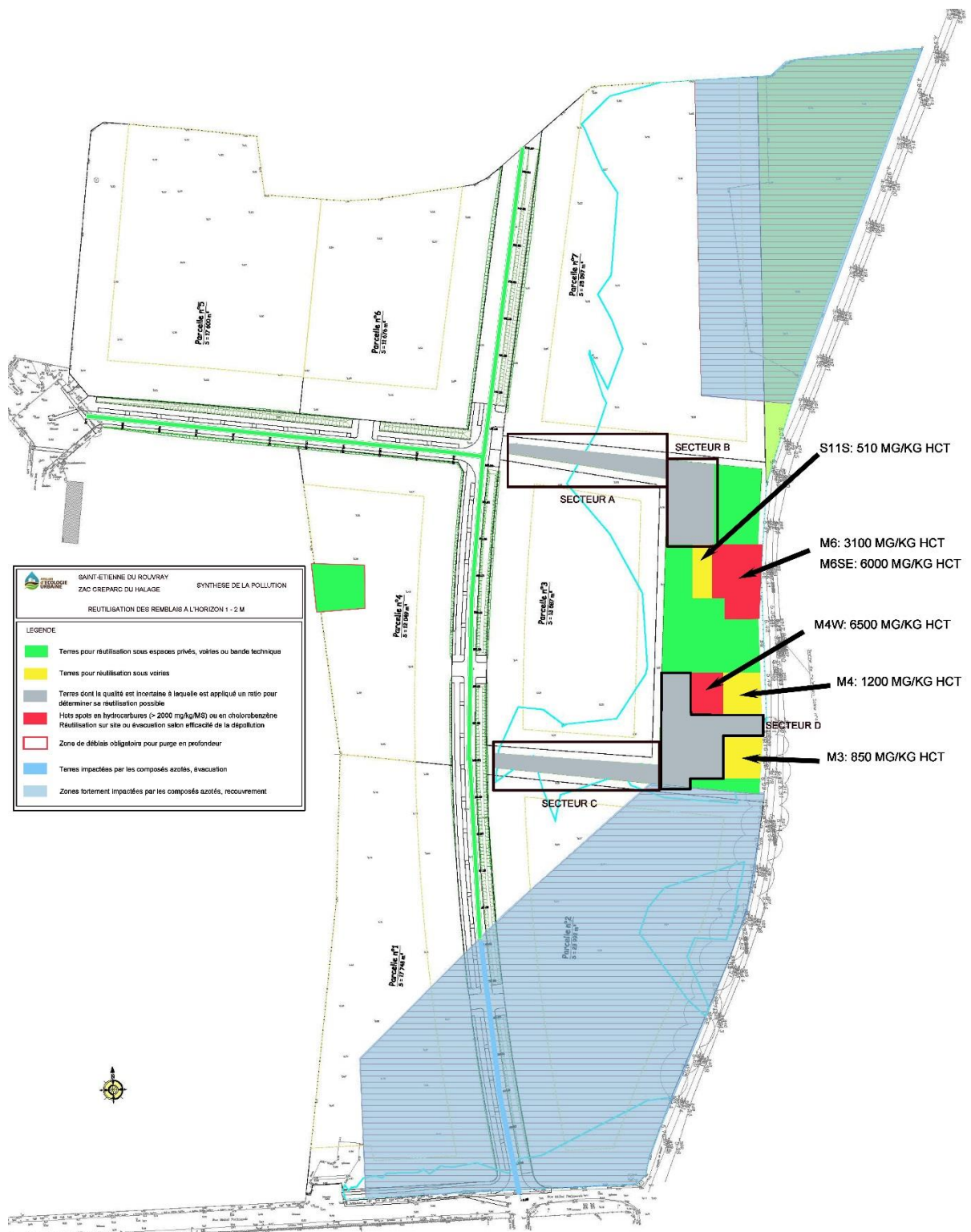


Figure 12 : Terrassement et purges sur la profondeur 1-2m

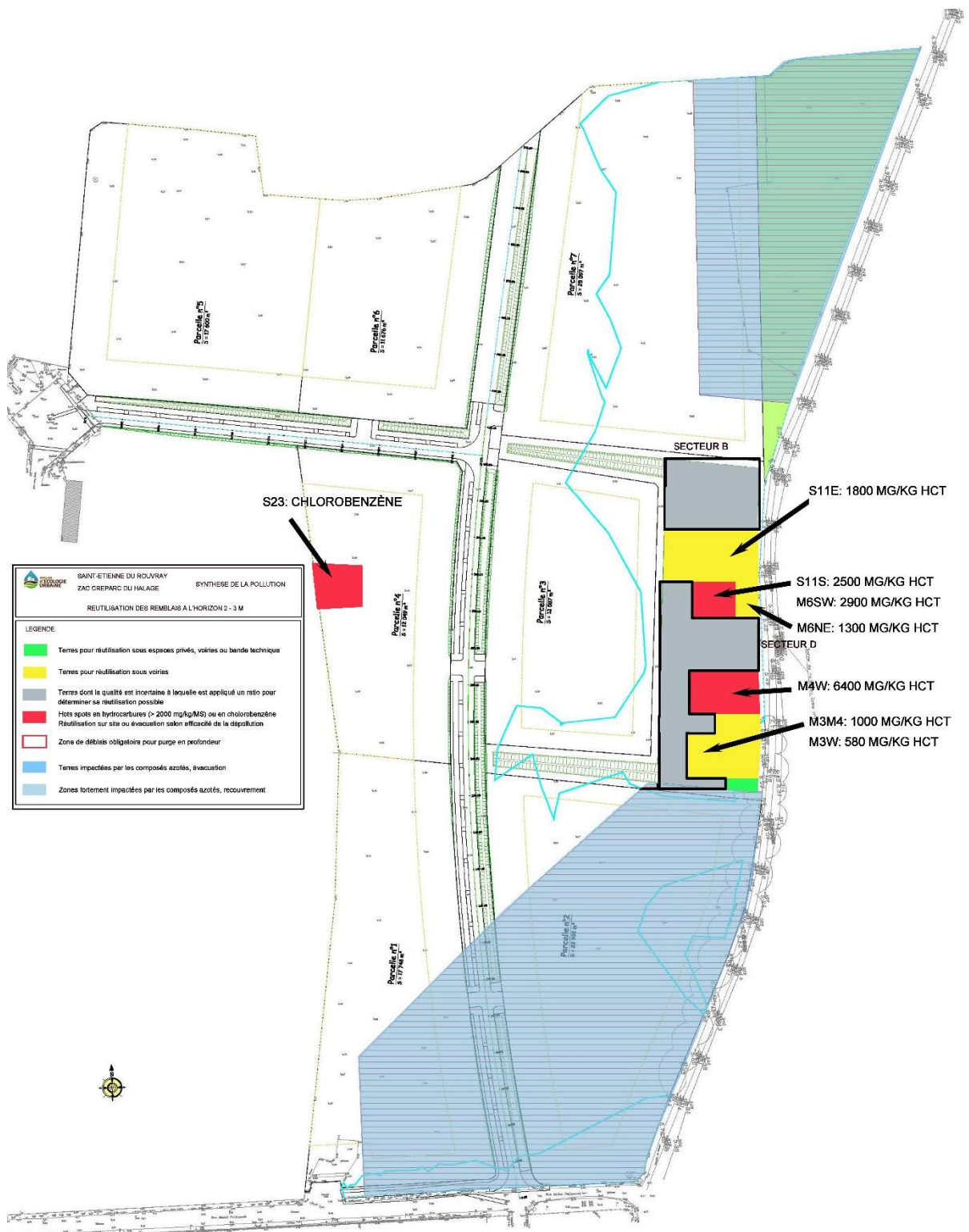


Figure 13 : Terrassement et purges sur la profondeur 2-3m

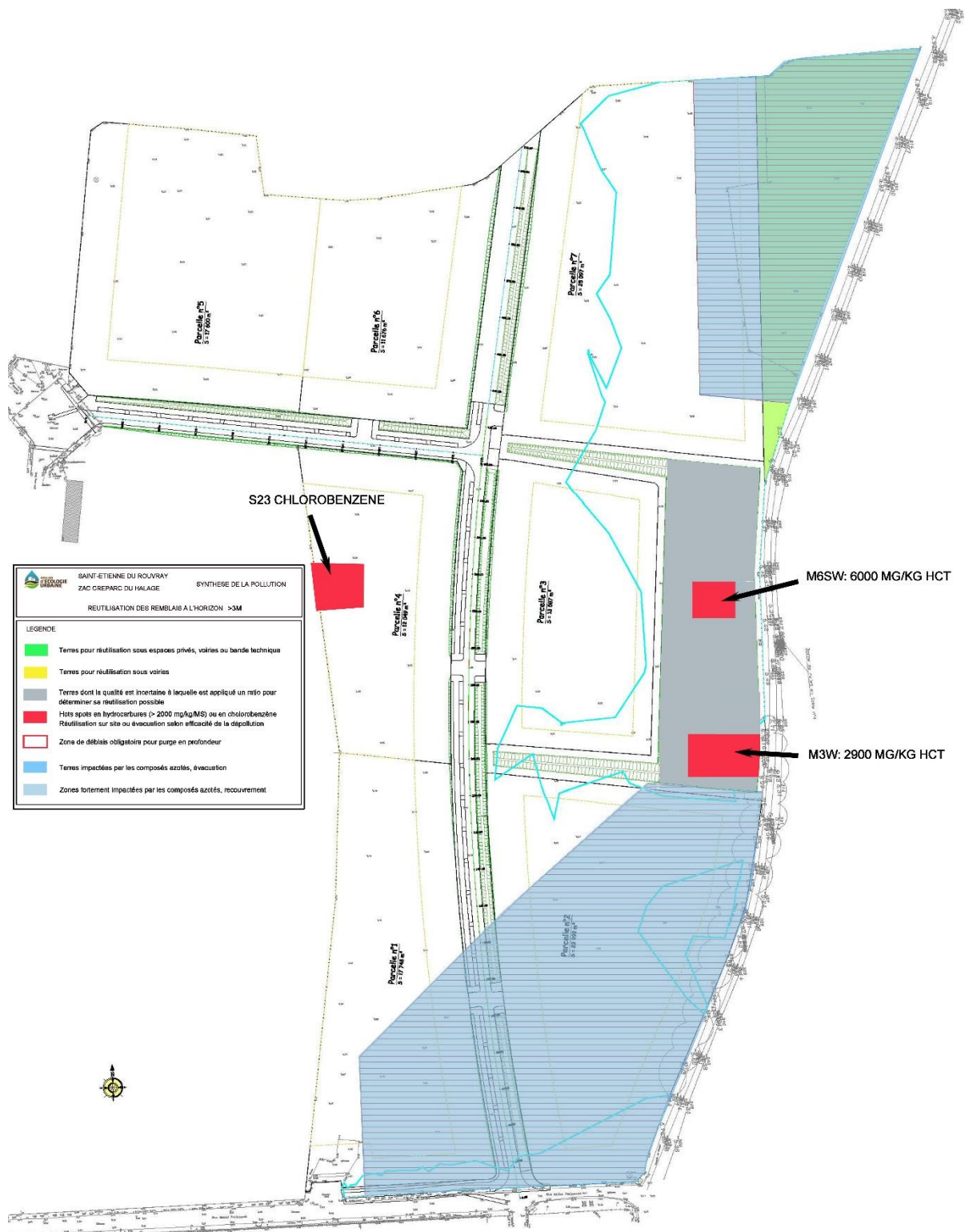


Figure 14 : Terrassement et purges sur la profondeur 3-4m

5. MODALITES TECHNIQUES DE TRAITEMENT, TRI ET STOCKAGE DES TERRES POLLUEES

5.1. Techniques de traitement sur site

Les calculs réalisés dans le cadre de l'Evaluation Quantifiée des Risques Sanitaires de 2016 mettent en évidence (cf. IV) la nécessité de traiter les sources concentrées, notamment pour les secteurs concernés par la présence d'hydrocarbures (avec des concentrations supérieures à 2000 mg/kg) et de chlorobenzènes.

Les études réalisées par ANTEA préconisent de recourir au procédé de biotertre ventilé ou de landfarming, dont les caractéristiques sont présentées ci-après. Les terres polluées devront faire l'objet de tests de traitabilité afin de vérifier la faisabilité et le rendement possible du procédé choisi pour le traitement.

Le choix de la maîtrise d'œuvre s'est porté sur le biotertre ventilé.

Le biotertre ventilé (source : BRGM, ADEME)

Principe

Le principe du biotertre consiste à rassembler les terres polluées excavées en vue de réaliser un traitement biologique (généralement biostimulation) sur site ou hors site (les tas de terre ne dépassent pas une hauteur de 3m).

Caractéristiques techniques

Avant dépôt sur une aire de traitement, les terres excavées sont généralement amendées à l'aide d'agent structurant.

L'aire de traitement comprend un système permettant la collecte des lixiviats, des unités d'aération afin d'optimiser le transfert d'oxygène et la stimulation de la biodégradation, et recouverte d'une géomembrane imperméable.

Pendant le procédé la biodégradation est régulièrement contrôlée : la température, le taux d'humidité, les nutriments, l'oxygène et le pH.

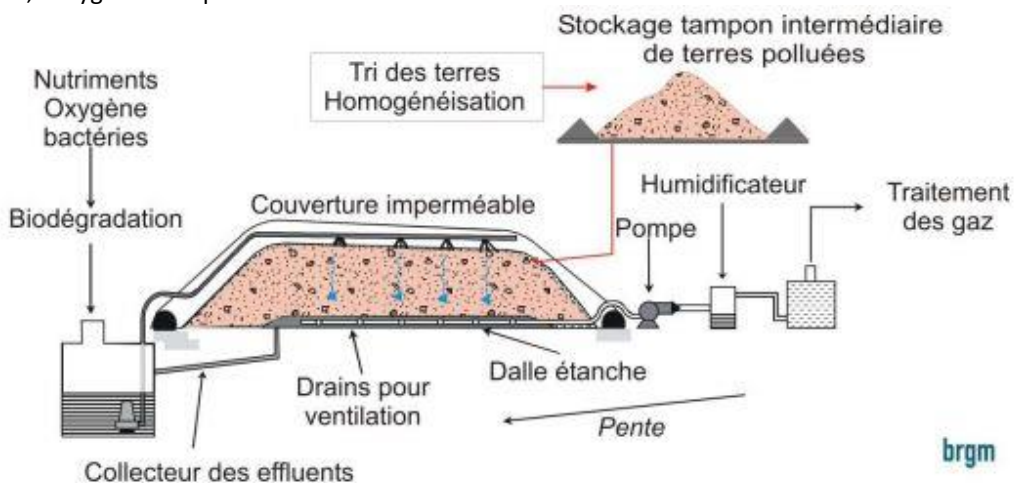


Figure 15 : Schéma de principe du biotertre

Source : www.selecdepol.fr

Efficacité et délais

Le rendement du biotertre varie en fonction des conditions du milieu ; si le temps de traitement est suffisamment long il peut atteindre plus de 90%.

La technique repose sur des mécanismes de biodégradation qui peuvent présenter des temps de traitement longs et variables en fonction des objectifs de dépollution. On peut atteindre plusieurs mois de traitement (18 à 24 mois) selon les objectifs visés.

5.2. **Tri et stockage des terres**

La stratégie de gestion des déblais du site repose sur une distinction entre plusieurs typologies de matériaux selon leur niveau de pollution, conditionnant les usages et aménagements sous lesquels ils pourront être réutilisés en remblais.

Compte tenu du phasage des opérations comportant chacune leur part de déblais et de remblais, la mise en œuvre de cette stratégie passera vraisemblablement par le recours à du stockage provisoire sur site, après excavation et avant réutilisation.

Cette phase doit impérativement permettre une continuité en termes de suivi, de contrôle et de traçabilité des matériaux, par le biais d'aires de stockage dédiées à chaque type de matériaux, suffisamment séparées et matérialisées.

En outre, les aménagements et protections diffèrent selon le niveau de pollution des matériaux reçus.

Les terres pouvant être réutilisées sur tout usage (en vert sur les Figure 11 à Figure 14) pourront ainsi être stockées sur un simple géotextile anti-contaminant afin de les distinguer des sols en place, et les stocks seront recouverts de gaines polyane lestées afin de prévenir les envols de poussières.

Les terres présentant des impacts modérés en hydrocarbures et préférentiellement réutilisées sous voiries et espaces non constructibles seront stockées sur une zone préalablement aménagée comprenant une sous-couche de grave, un géotextile et une géomembrane, les terres seront également recouvertes d'un polyane.

Pour les terres fortement impactées aux hydrocarbures et aux chlorobenzènes, nous préconisons, selon les résultats des essais de traitabilité, un traitement sur site après excavation des sols. Les zones de traitement recevront les aménagements appropriés en termes d'étanchéité et de protection. En cas de stockage provisoire préalable au traitement, les terres seront systématiquement déposées sur une zone imperméable (géomembrane, associée à des aménagements plus poussés en cas de stockage sur une longue durée).

Les terres fortement impactées aux composés azotés seront laissées en place et feront l'objet d'un recouvrement imperméable.

Le recouvrement des deux zones est lié aux usages :

- Les voiries et parkings seront réalisés avec des enrobés imperméables
- Les noues sont imperméabilisées à l'aide d'une géo membrane et de couches d'argiles compactées
- Les espaces verts sont imperméabilisés à l'aide d'argiles ou géomembrane, un géotextile accroche-terre et ajout de terre végétale, dans ces espaces on choisira des essences de type plantes buissonnantes et arbustes (les arbres de haute-tige à racines profondes seront bannies).

IV. ANALYSES DES ENJEUX ET DES IMPLICATIONS SANITAIRES

Sur la base des données recueillies au cours des différentes études réalisées¹, ANTEA Group a procédé à une interprétation des enjeux sanitaires du projet dans le cadre des principes de gestion retenus, débouchant sur une Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS).

Les facteurs de risque (qui est la conjonction d'une source de polluant(s), d'un mode de transfert vers un milieu d'exposition et d'une cible fréquentant ce milieu) identifiés dans le cadre du projet sont synthétisés dans le schéma conceptuel ci-après.

¹ BG Ingénieurs Conseils, 2004 ; Hydrogéotechnique, 2014 et ANTEA Group, 2015 et 2016

Le projet actuel est fondé sur des principes d'aménagements, d'usages et de mouvements de terres comparables à ceux sur lesquels ANTEA a travaillé. L'emplacement et la forme du bassin ont été modifiés et les réseaux seront enterrés sous une cote inférieure à celle précédemment étudiée. On peut toutefois considérer ce schéma comme toujours valide.

Dans l'hypothèse d'un recouvrement intégral des sols en place ou rapportés par les dallages des bâtiments, des revêtements minéraux ou de la terre végétale saine, il met en évidence des expositions potentielles essentiellement liées au transfert de vapeurs de composés organiques vers l'air intérieur des futurs bâtiment et l'air extérieur.

Ces composés organiques volatils sont susceptibles d'être issus du dégazage des sols en place ou des déblais pollués issus du terrassement des espaces publics et réemployés sur site.

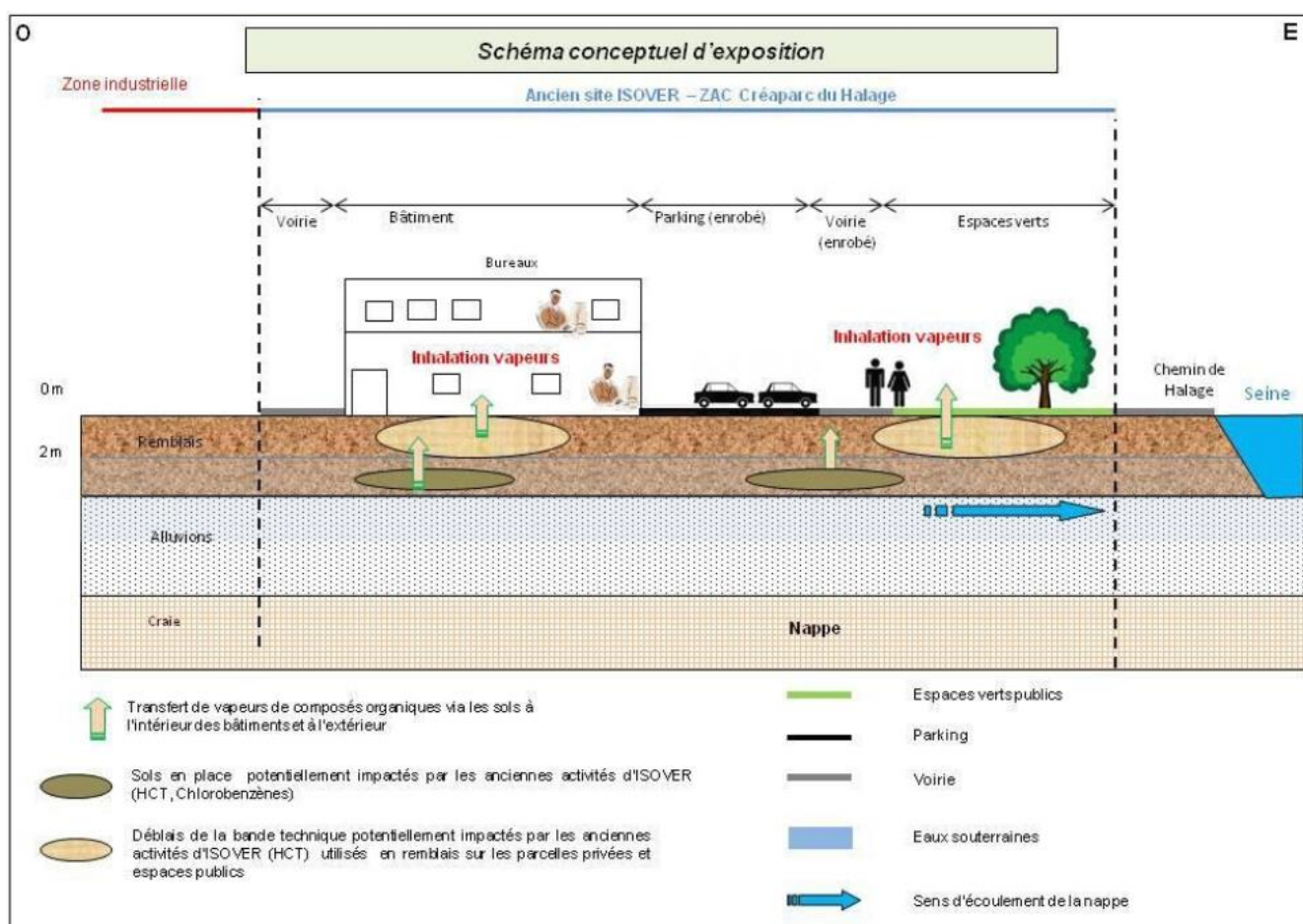


Figure 16 : Schéma conceptuel dans le cadre du projet
ANTEA, 2016

Dans le cadre de ces deux scénarios d'exposition, l'EQRS présente une première série de calculs fondés sur les concentrations maximales observées dans les sols en place ou les futurs déblais. Ils aboutissent à des risques non acceptables dans le cadre de l'inhalation de substances dans l'air intérieur de bureaux, et acceptables pour l'inhalation au droit d'espaces extérieurs, que ce soit au-dessus de terrains en place ou de déblais rapportés.

Ces calculs mettent donc bien en évidence :

- La nécessité de traiter les sources concentrées (hydrocarbures et chlorobenzènes) pour rendre les terrains compatibles avec les usages projetés et permettre la réutilisation sur site des déblais pollués ;
- La catégorisation indispensable des déblais en termes de réutilisation potentielle, selon les aménagements et usages prévus, de manière à orienter les matériaux vers des zones adaptées en termes d'usage à leur niveau de pollution résiduelle.

Par une démarche de calcul inverse, l'EQRS définit ensuite des Concentrations Maximales Admissibles (CMA) sous les futurs aménagements de bureaux, pour les sols en place d'une part et pour les futurs déblais rapportés d'autre part, garantissant des risques acceptables.

Ce calcul a pour but d'élaborer des objectifs de concentrations à atteindre pour les matériaux laissés en place ou apportés au niveau des espaces constructibles. Autrement dit, ces valeurs permettent de vérifier si l'état des parcelles constructibles est conforme à l'usage prévu, et si les déblais qui y seront rapportés satisfont à la même condition.

Substances	Concentration maximale mesurée dans les sols en place en mg/kg-MS	CMA calculée en mg/kg-MS
Hydrocarbures totaux C5-C10		
Fraction aliphatique C>8-C10	142,8	25
Hydrocarbures totaux C10-C40	1800	
Fraction aliphatique C>10-C12	160	
Fraction aliphatique C>12-C16	750	
Composés aromatiques volatils		
Benzène	0,16	0,01 (<LQ)
Composés organo-halogénés volatils		
1,1,1-Trichloroéthane	0,07	
Trichloroéthylène (TCE)	0,27	0,15
Chlorobenzène	29,9	
1,2-Dichlorobenzène	1,51	
1,3-Dichlorobenzène	17,7	
1,4-Dichlorobenzène	120	1,5
1,2,3-Trichlorobenzène	14,6	1
1,2,4-Trichlorobenzène	29,2	10
Phtalates		
Bis(2-éthylhexyl)phtalate	1,41	
Phénols		
Phénol	3,5	
Pentachlorophénol	0,26	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques		
Naphtalène	0,2	
Mercuré	0,0555 (5 % de 1,11 mg/kg-MS)	
PCB (somme des 7 composés)	0,11	

Tableau 3 : CMA calculées pour l'aménagement de bureaux sur les terrains en place
ANTEA, 2016

Substances	Concentration maximale mesurée dans les remblais en mg/kg-MS	CMA calculée pour les remblais en mg/kg-MS
Hydrocarbures totaux C5-C10		
Fraction aliphatique C>6-C8	5,59	
Fraction aliphatique C>8-C10	395,4	5
Hydrocarbures totaux C10-C40	6400	
Fraction aliphatique C>10-C12	830	20
Fraction aliphatique C>12-C16	2800	
Composés aromatiques volatils		
Toluène	0,12	
Cumène	0,65	
Phthalates		
Bis(2-éthylhexyl)phthalate	0,03	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques		
Naphtalène	0,096	
Mercuré	0,075 (5 % de 1,5 mg/kg-MS)	
PCB (somme des 7 composés)	0,22	
Formaldéhyde	2	

Tableau 4 : CMA calculées pour l'aménagement de bureaux sur les remblais

ANTEA, 2016

Les résultats d'analyses dépassant les CMA pour les sols en place identifiées par ANTEA (cf. Tableau 5) déterminent les zones à purger.

Substances	Concentrations maximales admissibles dans les sols en mg/kg MS	Sondages concernées par des concentrations supérieures aux CMA
Hydrocarbures		
Fraction aliphatique C8-C10	25	S11N (1-2 m), S11N (2-3 m), S11E (2-3 m), S11S (0-1 m), S11 S (2-3 m), S11S (3-4 m), S11W (2-3 m), M3W (2-3m), M3W(3-4 m), M4W (2-3 m), M6NE (2-3 m), M6SW (2-3 m), M6SW (3-4m), M6SE (2-3m), M6SE (3-4 m), M6W (2-3 m)
Composés aromatiques volatils		
Benzène	<LQ	S23-1 (2,1-2,2 m),
Composés organo-halogénés volatils		
Trichloroéthylène	0,15	S25-1 (2,05-2,15 m)
1,4 Dichlorobenzène	1,5	S23-1 (2,1-2,2 m)
1,2,3 Trichlorobenzène	1	S23-3 (3,9-4 m), S23E (2-3 m), S23E (3-4 m)
1,2,4 Trichlorobenzène	10	S23-3 (3,9-4 m), S23E (3-4 m)

Tableau 5 : Dépassements des CMA pour les sols en place

ANTEA, 2017

En ce qui concerne les futurs déblais inhérents au projet de terrassement, les dépassements de CMA correspondent à des matériaux à traiter avant réemploi, ou à réutiliser sous espaces non constructibles. Toutefois, des volumes supplémentaires de déblais, non concernés par des dépassements de CMA, sont également concernés par des sujétions de traitement ou réutilisation dans la mesure où ils sont concernés par des pollutions concentrées.

Substances	Concentrations maximales admissibles dans les sols en mg/kg MS	Sondages concernés par des concentrations supérieures aux CMA
Hydrocarbures		
Fraction aliphatique C8-C10	5	S11N (1-2 m), S11N (2-3 m), S11E (2-3 m), S11S (0-1 m), S11 S (2-3 m), S11S (3-4 m), S11W (2-3 m), M3W (2-3m), M3W(3-4 m), M4W (2-3 m), M4W (3-4 m), M6NE (1-2 m), M6NE (2-3 m), M6SW (2-3 m), M6SW (3-4m), M6SE (2-3m), M6SE (3-4 m), M6W (2-3 m) M3-M4 (2-3 m),
Fraction aliphatique C10-C12	20	S11-1 (2,9-3 m) S11N (1-2 m), S11N (2-3 m), S11E (2-3 m), S11S (0-1 m), S11 S (2-3 m), S11S (3-4 m), S11W (2-3 m)

Tableau 6 : Dépassements des CMA pour les déblais rapportés

ANTEA, 2017



Figure 17 : Localisation des zones concernées par les CMA et actions engagées

En conséquence, la stratégie de gestion élaborée par ANTEA et poursuivie actuellement semble valide au plan sanitaire.

Toutefois, le contenu et les résultats de l'EQRS appellent plusieurs remarques :

- Tout d'abord, si les CMA semblent respectées pour les sols en place des zones constructibles, hors zones d'impact à traiter, cette observation ne repose que sur un nombre relativement faible de données au regard des surfaces concernées. Les futurs îlots privés ont en effet fait l'objet d'un nombre beaucoup moins dense de sondages que la bande technique. Certaines parcelles n'ont fait l'objet d'aucune recherche en composés organiques volatils (COHV, chlorobenzènes, etc.).

- Les CMA ne sont définies que pour un nombre limité de substances. Il s'agit de celles qui sont prépondérantes dans les risques évalués dans la première série de calculs. Elles ne sont donc pas exploitables pour définir des objectifs à atteindre pour les autres substances, qui pourraient se révéler ponctuellement plus concentrées sur certaines zones.
- A partir des données actuellement disponibles, il est difficile de dire si les CMA sont atteignables pour les hot spots traités. On peut donc difficilement prévoir si les zones sources impactées, purgées et traitées fourniront des matériaux réutilisables sous espaces constructibles, et d'ailleurs l'étude ANTEA ne l'envisage pas explicitement. Le volume de matériaux valorisables uniquement sous espaces extérieurs peut donc devenir important.
- Enfin, les CMA définies pour les futurs déblais rapportés sur parcelles constructibles concernent essentiellement les hydrocarbures aliphatiques C8-C10 et C10-C12, et pour ces deux fractions, les valeurs limites sont relativement basses. Comme cela a été mis en évidence par ANTEA, les dépassements constatés concernent principalement des zones d'impacts, destinés à être traités et/ou à être réutilisés sous voiries. Cependant, il est possible que de futurs déblais considérés comme peu impactés en hydrocarbures (dans les zones « vertes ») présentent quelques dépassements des CMA lors d'investigations complémentaires ou contrôles en cours de travaux. Des déblais initialement considérés comme réutilisables sous espaces constructibles pourraient donc se voir déclassés en déblais réutilisables sous espaces non constructibles (déblais « jaunes ») en cours d'opération, en augmentant d'autant plus le volume.

Il y a donc, en premier lieu, une incertitude quant à la qualité des sols en place et leur conformité avec l'usage (construction de bureaux) prévu. Celle-ci pourrait être réduite par la mise en œuvre d'investigations complémentaires au droit des zones insuffisamment étudiées, puis par la mise à jour de l'étude de risques qui pourra déboucher sur l'élaboration de nouvelles Concentrations Maximales Admissibles en fonction des données obtenues.

En second lieu, il existe un aléa sur le volume de déblais ne respectant pas les CMA pour l'usage bureaux (après traitement ou non traitables). Cet aléa peut être réduit par des investigations complémentaires et une approche affinée de l'analyse des enjeux sanitaires, toutefois il est important d'envisager le cas où les espaces publics seuls ne suffiront pas à absorber la quantité de déblais pollués, et où il sera nécessaire de les mettre en place au droit de certains espaces privés qui se verront ainsi assortis de servitudes.

Enfin, une partie significative des zones initialement à terrasser et destinées désormais à être confinées sur place sont affectées par des pollutions concentrées en hydrocarbures (au nord de la bande technique notamment). La validité au plan sanitaire de leur maintien en place nécessite d'être vérifiée par une analyse des risques résiduels.

Une mise à jour de l'approche quantitative des risques sanitaires, cohérente avec les caractéristiques actuelles du projet et intégrant si possible des données complémentaires sur la qualité des futurs déblais et matériaux restant en place est donc recommandée.

V. CONCLUSIONS ET SUITES A DONNER

Le projet d'aménagement de la ZAC du Halage à Saint-Etienne du Rouvray (76), d'une superficie d'environ 15 000 m², concerne un ancien site industriel aujourd'hui vierge de toute construction, affecté par une pollution des sols et des eaux souterraines en grande partie liée aux anciennes activités (stockages, usages, remblaiements, etc.).

Cette pollution est caractérisée par la présence de plusieurs sources concentrées dans les sols en hydrocarbures et solvants aromatiques halogénés, par des anomalies diffuses en Eléments Traces Métalliques et fluorures lixiviables dans les remblais reconnus jusque vers 3 m de profondeur, et enfin par une contamination des sols et de l'eau souterraine par des composés azotés (ammonium, nitrites, nitrates...). Une partie des remblais identifiés sur le site comportent en outre une proportion importante de déchets.

Le projet consiste en l'aménagement d'un réseau viaire desservant de futures parcelles à bâtir destinées à accueillir des activités économiques (artisanales, industrielles voire tertiaires), ainsi qu'une bande technique et écologique établie le long de la Seine et accueillant des ouvrages de gestion des eaux et des dispositifs de compensation écologiques et hydrauliques.

Ces aménagements généreront un volume important de déblais, notamment liés à la création d'un bassin de rétention, compensation de volumes, qu'il est prévu de réutiliser autant que possible sur le site, notamment pour la mise hors d'eau des terrains à bâtir.

La stratégie de gestion de la pollution, définie en amont du projet et qui au cours de son avancement doit être mise à jour, détaillée puis déclinée au plan opérationnel, repose sur des objectifs de traitement des sources concentrées ou de leur confinement, d'une recherche d'un équilibre déblais/remblais permettant de maîtriser l'incidence financière de la gestion de la pollution, et enfin d'une compatibilité sanitaire entre les usages projetés et la pollution résiduelle.

Ces objectifs se traduisent par un mouvement de terre faisant la distinction entre différentes typologies de déblais, selon leur niveau de pollution (les déblais sont principalement liés à l'aménagement du bassin de gestion des eaux pluviales, mais également issus de purges complémentaires nécessaire au traitement des sources). Ce niveau de pollution conditionne une orientation vers un usage adapté (vis-à-vis des enjeux sanitaires) : sur la bande technique, sur parcelles constructibles, sous espaces non constructibles des îlots, sous voiries et espaces publics, ou enfin vers des dispositifs de traitement sur site dont la performance déterminera la réutilisation ultérieure. A cette gestion du mouvement de terre est également associée une nécessaire maîtrise de l'état des sols en place au niveau des terrains à bâtir.

La conception des travaux à réaliser pour mener à bien le projet passe donc par l'élaboration d'une cartographie de la pollution (plan de maillage) permettant d'identifier les zones de purges, de confinement et les zones de déblais selon leurs niveaux de pollution et leurs orientations pressenties.

Elle passe également par la définition de procédures de tri, de stockages provisoires des matériaux, et par le calage de toutes les opérations de gestion de la pollution dans le planning des travaux.

Elle nécessite de vérifier la faisabilité technique des solutions de traitement envisagées, par la réalisation des études et essais appropriés, et d'en préciser les modalités de mise en œuvre.

Enfin, elle doit comporter une vérification de la validité des mesures au plan sanitaire, par le recours à une nouvelle Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires.

Le recouvrement nécessaire des sols impactés aux composés azotés sans extraction des sols en place nous amène en effet à laisser en place des terres concernées par des pollutions concentrées et dont il est nécessaire de vérifier la compatibilité avec les aménagements et usages projetés. Par ailleurs, une mise à jour des concentrations maximales admissibles selon les différents types d'usages (voiries, espaces verts, bâtiment) et matériaux (sols en place, remblais) permettra de mieux guider la mise en œuvre et le contrôle des opérations.

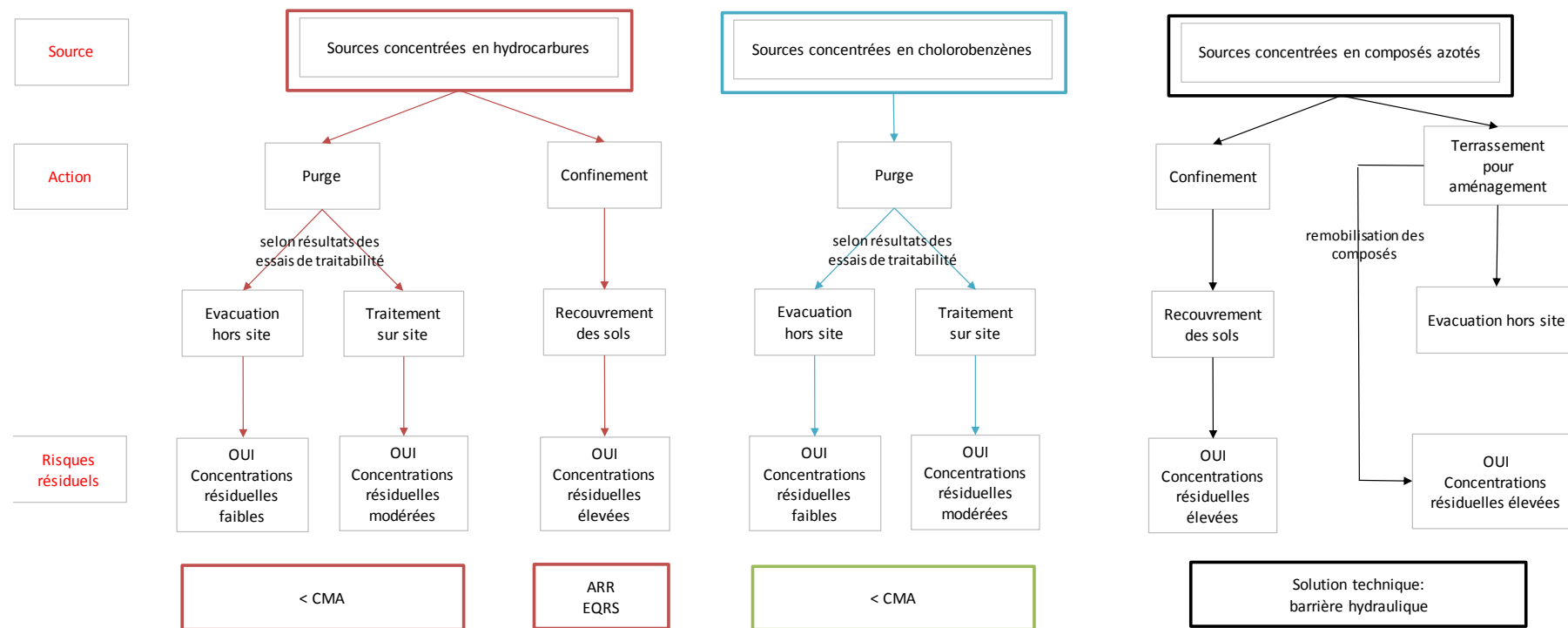


Figure 18 : Stratégie de gestion et risques résiduels

Tous ces points pourront faire l'objet d'optimisations, mais surtout présentent encore des aléas importants que les actions suivantes permettraient de réduire :

- La mise en œuvre d'essais de traitabilité des sources concentrées permettra de valider la stratégie générale d'équilibre déblais/remblais et d'identifier les orientations possibles des terres après traitement ;
- La réalisation d'investigations complémentaires permettrait de réduire les incertitudes quant à la qualité de certains futurs déblais, et ainsi affiner le plan de maillage et les estimations ;
- D'autres investigations pourraient lever certaines interrogations quant à la qualité des sols en place sous futurs espaces constructibles,

Pour terminer, il convient de garder à l'esprit que compte tenu des données actuellement disponibles sur la pollution du site, de la nature hétérogène et évolutive de la pollution des milieux, et de la difficulté à cerner l'ensemble de ses caractéristiques sur la base d'investigations ponctuelles, même nombreuses, le projet ne doit pas être figé trop vite et garder des marges de manœuvre, en particulier en termes d'usages et d'organisation temporelle.

ANNEXES

- Annexe 1 Cartographie des impacts et anomalies dans les sols ayant des conséquences en termes de gestion
- Annexe 2 Phasage et volumes de terre

ANNEXE 1

CARTOGRAPHIE DES IMPACTS ET ANOMALIES DANS LES SOLS AYANT DES CONSEQUENCES EN TERMES DE GESTION

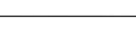



ATELIER d'ÉCOLOGIE URBAINE
AGENCE PARIS
 89 rue du Faubourg Saint Antoine
 75011 PARIS
 +33 9 54 46 34 34
aeu.paris@aeuconseil.com

Saint-Etienne-du-Rouvray
ZAC Creaparc du Halage




Synthèse de la pollution
Localisation des principales anomalies en Hydrocarbures C10-C40 et Chlorobenzènes

Echelle


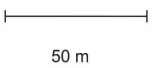




 50 m

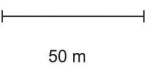
Nord





Légende	
	Pollution Hydrocarbures C10-C40 > 2 000 mg/kg/MS
	Pollution Hydrocarbures C10-C40 < 2 000 mg/kg/MS
	Pollution Chlorobenzènes



 AGENCE PARIS 89 rue du Faubourg Saint Antoine 75011 PARIS +33 9 54 46 34 34 aeu.paris@aeuconseil.com	Saint-Etienne-du-Rouvray ZAC Creaparc du Halage	Echelle  50 m	Nord 	Légende  Pollution ETM lixiviables : 0,5 mg/kg/MS < Mo < 1,5 mg/kg/MS 0,06 mg/kg/MS < Sb < 0,18 mg/kg/MS  Pollution Sulfates lixiviables 12 000 mg/kg/MS
	Synthèse de la pollution Localisation des principales anomalies en ETM et Sulfates lixiviables			



-  Pollution Fluorures lixiviables $10 \text{ mg/kg/MS} < x < 30 \text{ mg/kg/MS}$
-  Pollution Fluorures lixiviables $> 30 \text{ mg/kg/MS}$

ANNEXE 2
PHASAGE ET VOLUMES DE TERRE

