



Plan de Gestion du Site

**Site SANOFI CHIMIE -
Centre de Production
de Romainville**

Romainville (93), France



Préparé pour :
SANOFI CHIMIE

Préparé par :
ENVIRON France SAS
Les Pléiades III, Bâtiment C
320, avenue Archimède
F-13857 AIX EN PROVENCE Cedex 3

Date :
Juillet 2014

N° de projet :
FR11AVE193

N° de rapport :
12ERE 14 009

N° de projet :	FR11AVE193
N° de rapport :	12ERE 14 009
Version :	Final
Rédacteur (signature) :	Maxime OBERT / Yann VALLETTE 
Revue Qualité (signature) :	Frédéric LEVEAU 
Date :	Juillet 2014

ENVIRON a rédigé ce document avec tout le soin et le professionnalisme nécessaires. ENVIRON a fait appel à ses personnels et à ses moyens dans les limites qui lui ont été accordées par son Client. Ce document est confidentiel et a pour seul destinataire le Client. ENVIRON ne reconnaît aucune responsabilité envers des tiers qui auraient eu communication de tout ou partie de ce document, sauf accord formel préalable de ENVIRON. Tout tiers quel qu'il soit, se fie à ce document à ses propres risques.

ENVIRON ne reconnaît aucune responsabilité envers son Client ou envers toute autre partie, concernant tout sujet qui n'entrerait pas dans le cadre de la mission convenue avec le Client.

Révision du document				
Version	Description	Date	Rédacteur	Revue Qualité
V0	Version provisoire	Avril 2014	MOB/YVA	FLE
V1	Version provisoire	Mai 2014	MOB	FLE
V2	Version provisoire	Juillet 2014	MOB	FLE
V3	Version provisoire	Juillet 2014	MOB	FLE
Final	Version finale	Juillet 2014	MOB	FLE
Contact client :		Frédéric LEVEAU fleveau@environcorp.com Tél : +33 (0)1 42 71 11 10 www.environcorp.com		

Table des matières

Glossaire	i
Synthèse	i
1 Introduction	1
1.1 Contexte	1
1.2 Objectifs et méthodologie	2
2 Présentation du site	4
2.1 Localisation et voisinage de la zone d'étude	4
2.2 Zonage de l'ancien CPR et emprise du Plan de Gestion	4
2.3 Situation cadastrale	5
2.4 Règle d'urbanisme	6
2.5 Historique des activités	6
2.6 Situation administrative (ICPE) de la zone d'étude	8
2.7 Usages futurs	9
2.8 Conclusion	9
3 Contexte environnemental	10
3.1 Formations géologiques rencontrées au droit du site	10
3.2 Hydrogéologie et usages des eaux souterraines	10
3.2.1 Nappes rencontrées au droit du site	10
3.2.2 Usages des eaux souterraines	11
3.2.3 Vulnérabilité et sensibilité des eaux souterraines	12
3.3 Hydrologie et eaux de surface	13
3.3.1 Réseau hydrologique au voisinage du site	13
3.3.2 Usages des eaux de surface	13
3.3.3 Vulnérabilité et sensibilité des eaux de surface	13
3.4 Risques naturels et technologiques	13
3.5 Risques industriels	13
4 Conditions environnementales du site	17
4.1 Investigations environnementales réalisées	17
4.1.1 Chronologie des études/investigations réalisées	17
4.1.2 Synthèse des investigations réalisées	18
4.1.3 Campagnes de suivi des milieux	20
4.2 Principaux impacts identifiés	20
4.2.1 Synthèse des impacts identifiés	20
4.2.2 Cas particulier des impacts des remblais (Métaux)	24
4.2.3 Zone nord-ouest	27
4.2.4 Zone P1 « Léonard de Vinci »	27
4.2.5 Zone P2 « Genevoix »	28
4.2.6 Zone P3 « Chenil »	29
4.3 Nappe de l'Yprésien	30

5	Synthèse des essais pilotes réalisés	32
5.1	Traitement des sols	32
5.1.1	Venting	32
5.1.2	Aération mécanique	34
5.1.3	Essais de chaulage	35
5.2	Traitement de la nappe perchée	36
5.2.1	Présentation des techniques testées	36
5.2.2	Zone impactée P1	38
5.2.3	Zone source P2	38
5.2.4	Zone source P3	40
5.2.5	Conclusion sur les essais pilotes de traitement	41
6	Schéma conceptuel envisagé	42
6.1	Sources	42
6.2	Voies de transfert et d'exposition	43
6.3	Cibles	43
6.4	Risques environnementaux	43
6.6	Synthèse	44
7	Bilan coûts/avantages des options de gestion	45
7.1	Approche générale de gestion	45
7.2	Sélection de solutions de réhabilitation envisageables	46
7.2.1	Critères de sélection	46
7.3	Typologie des zones sources	47
7.4	Présentation des solutions présélectionnées	48
7.5	Evaluation technico-économique des solutions proposées	51
7.5.1	Hypothèses principales retenues pour les chiffrages	51
7.5.2	Estimation des coûts directs des modes de gestion sélectionnés pour les sols et les eaux souterraines	54
8	Mesures de gestion proposées	58
8.1	Mesures de gestion des impacts dans les sols	58
8.1.1	Zone nord-ouest	58
8.1.2	Zones P2 « Genevoix »	59
8.1.3	Zones P3 « Chenil »	59
8.1.4	Gestion des impacts résiduels ou ponctuels	60
8.2	Mesures de gestion des impacts dans les gaz du sol	60
8.3	Mesures de gestion des impacts dans la nappe perchée	61
8.4	Mesures de gestion des impacts dans la nappe de l'Eocène	62
8.5	Solutions de contrôle des expositions	63
8.6	Gestion des nuisances	64
8.7	Estimation financière de mise en œuvre des mesures de gestion	64
8.8	Échéancier	66
9	Analyse prédictive des Risques Résiduels et Interprétation de l'état des milieux	67

9.1	Méthodologie	67
9.2	Scénario considéré	68
9.3	Schéma conceptuel actualisé	68
9.3.1	Sources	69
9.3.2	Voies d'exposition	70
9.3.3	Cibles	71
9.3.4	Synthèse	71
9.4	Paramètres retenus pour les calculs	71
9.4.1	Hypothèses principales	71
9.4.2	Caractéristiques des sources	71
9.4.3	Caractéristiques des récepteurs	72
9.4.4	Caractéristiques des vecteurs : émissions et transferts de vapeurs	73
9.5	Résultats	75
9.5.1	Estimation des niveaux de risques – Scénario industriel sur site	75
9.5.2	Estimation des niveaux de risques – Usage « résidentiel » constaté hors-site	76
9.6	Analyse de sensibilité	76
9.6.1	Facteurs d'incertitudes	76
9.6.2	Etude de sensibilité	77
9.7	Synthèse des résultats de l'ARR et de l'IEM	77
10	Restrictions d'usage	78
10.1	Restrictions d'usage des sols	78
10.2	Restrictions d'usage des eaux souterraines	79
11	Surveillance environnementale	80

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Synthèse des investigations réalisées au droit de l'ancien CPR et en ses alentours	18
Tableau 2 :	Liste des campagnes de suivi de la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol	20
Tableau 3 :	Synthèse des impacts identifiés dans les milieux souterrains	22
Tableau 4 :	Concentrations analysées (mg/kg) dans les remblais et sols sous-jacents (hors solvants)	25
Tableau 5 :	Concentrations sur éluats analysées dans les remblais (mg/kg)	26
Tableau 6 :	Synthèse des impacts métaux	26
Tableau 7 :	Liste des puits de pompage	30
Tableau 8 :	Synthèse des essais pilotes réalisés	32
Tableau 9 :	Impact du chaulage sur le caractère lixiviable des métaux des remblais	35
Tableau 10 :	Impact du chaulage sur le caractère lixiviable des métaux des remblais	36
Tableau 11 :	Schéma conceptuel du site	44
Tableau 12 :	Présélection des solutions de réhabilitation envisageables sur le site	49
Tableau 13 :	Hypothèses de calcul des solutions de réhabilitation	52
Tableau 14 :	Taux d'abattelements et concentrations résiduelles attendus	54
Tableau 15 :	Évaluation économique des modes de gestion – Zones nord-ouest et P2 – Métaux - Remblais	55
Tableau 16 :	Evaluation économique des modes de gestion – Zone nord-ouest – Remblais	55
Tableau 17 :	Evaluation économique des modes de gestion – Zone P2 « Genevoix » - Sols et nappe perchée	56
Tableau 18 :	Evaluation économique des modes de gestion – Zone P3 « Chenil » - Sols et nappe perchée	57
Tableau 19 :	Evaluation économique du suivi de la nappe perchée	57
Tableau 20 :	Evaluation économique du suivi de la nappe de l'Eocène	57
Tableau 21 :	Synthèse des coûts des mesures de gestion envisagées	65
Tableau 22 :	Concentrations retenues – Scénario industriel	70
Tableau 23 :	Concentrations retenues – Scénario résidentiel – Hors-site	70
Tableau 24 :	Caractéristiques des récepteurs	73
Tableau 25 :	Paramètres utilisés dans les calculs d'émissions et de transferts de vapeurs	74
Tableau 26 :	ARRp - Scénario industriel - Risques potentiels pour les employés sur site	75
Tableau 27 :	IEM - Scénario « résidentiel » hors-site - Risques potentiels pour les enfants et adultes	76
Tableau 28 :	Résultats de l'étude de sensibilité	77

Liste des graphiques

Graphique 1 :	Principe de réhabilitation « durable »	47
Graphique 2 :	Concentrations moyennes résiduelles en fonction des abattements	53

Liste des figures

Figure 1 :	Plan de localisation
Figure 2 :	Environnement du site
Figure 3 :	Plan du site
Figure 4 :	Zonage du site (cessation et transfert d'activité)
Figure 5 :	Activités ICPE
Figure 6 :	Contexte géologique du site
Figure 7 :	Coupe géologique et hydrogéologique
Figure 8 :	Plan d'implantation des sondages sols
Figure 9 :	Nappe perchée : implantation des piézomètres
Figure 10 :	Nappe perchée : piézométrie
Figure 11 :	Nappe de l'Eocène : implantation des piézomètres
Figure 12 :	Nappe de l'Eocène : piézométrie
Figure 13 :	Nappe de l'Yprésien : implantation des puits de pompage
Figure 14 :	Plan d'implantation des piézairs
Figures 15a à d :	Synthèse des impacts identifiés
Figure 16 :	Sols - Concentrations en arsenic
Figure 17 :	Sols - Concentrations en cadmium
Figure 18 :	Sols - Concentrations en chrome
Figure 19 :	Sols - Concentrations en cuivre
Figure 20 :	Sols - Concentrations en mercure
Figure 21 :	Sols - Concentrations en nickel
Figure 22 :	Sols - Concentrations en plomb
Figure 23 :	Sols - Concentrations en zinc
Figure 24 :	Sols - Concentrations en HAP
Figure 25 :	Sols - Concentrations en BTEX
Figure 26 :	Sols - Concentrations en COHV
Figure 27 :	Sols - Concentrations en acétone
Figure 28 :	Sols - Concentrations en alcool isopropylique
Figure 29 :	Gaz du sol - Concentrations en COHV
Figure 30 :	Nappe perchée - Concentrations en arsenic
Figure 31 :	Nappe perchée - Concentrations en BTEX
Figure 32 :	Nappe perchée - Concentrations en COHV
Figure 33 :	Nappe perchée - Concentrations en acétone
Figure 34 :	Nappe perchée - Concentrations en alcool isopropylique

- Figure 35 : Nappe Eocène – Concentrations en arsenic
- Figure 36 : Nappe Eocène – Concentrations en BTEX
- Figure 37 : Nappe Eocène – Concentrations en COHV
- Figures 38a et b : Schéma conceptuel avant travaux
- Figure 39 : Schéma conceptuel après travaux
- Figure 40 : Suivi des eaux souterraines après travaux de dépollution - Nappe perchée
- Figure 41 : Suivi des eaux souterraines après travaux de dépollution - Nappe éocène
- Figure 42 : Surveillance environnementale – Gaz de sol

Liste des annexes

- Annexe A : Plan de division
- Annexe B : PLU de Romainville (plan de zonage)
- Annexe C : Historique des activités
- Annexe D : Synthèse et chronologie des investigations réalisées
- Annexe E : Voisinage contacté pour l'implantation d'ouvrages de surveillance
- Annexe F : Rapports d'essais pilote
- Annexe G : Chiffrage des options de réhabilitation
- Annexe H : Évaluation statistique des taux d'abattements
- Annexe I : Méthodologie et équations utilisées dans les études de risques sanitaires
- Annexe J : ARRp / IEM - Concentrations retenues pour les calculs
- Annexe K : ARRp / IEM - Paramètres physico-chimiques
- Annexe L : ARRp / IEM - Valeurs Toxicologiques de Référence
- Annexe M : ARRp / IEM - Détails des calculs de risques

Glossaire

ARR	Analyse des risques résiduels
BRGM	Bureau de Recherche Géologique et Minière
BTEX	Acronyme des composés aromatiques Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes (o, m, p)
COHV	Acronyme des composés organiques halogénés volatiles dont : <ul style="list-style-type: none">- PCE : tétrachloréthène- TCE : trichloréthène ;- Cis-1,2-DCE et Trans-1,2-DCE : Cis-1,2-dichloréthène et trans-1,2-dichloréthène- 1,1,1 TCA : 1,1,1-Trichloroéthane ;- 1,2 DCA : 1,2 dichloroéthane- CV : chlorure de vinyle- TCM ; trichlorométhane ou chloroforme- DCM : dichlorométhane
CMA	Concentration Maximale admissible
CMR	Concentrations Maximum Résiduelles
CPR	Centre de Production de Romainville
DBO5	Demande Biologique en Oxygène sous 5 jours
DCO	Demande Chimique en Oxygène
ERI	Excès de Risque Individuel
EQRS	Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT	Hydrocarbures totaux
IEM	Interprétation de l'état des milieux
ISDI	Installation de Stockage de Déchets Inertes
ISDD	Installation de Stockage de Déchets Dangereux
ISDND	Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux
MEK	Méthyléthylcétone
MCB	Monochlorobenzène
NGF	Nivellement Général de la France
NQEp	Normes de Qualité Environnementale provisoires
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PGS	Plan de Gestion de Site
pH	Potentiel Hydrogène

QD Quotient de danger
VTR Valeur Toxicologique de Référence

Synthèse

Contexte de l'étude

Le Centre de Production de Romainville (CPR), site d'une superficie de 7,3 ha localisé 111-143, avenue Gaston Roussel sur la commune de Romainville (93), a été exploité successivement par différents exploitants et, à partir du 1^{er} janvier 2006, par la société SANOFI CHIMIE. Ce site est implanté en rive gauche du canal de l'Ourcq dans un environnement à usage mixte (industriel, artisanal et résidentiel). Au 31 décembre 2013, SANOFI CHIMIE s'est désengagée de ses activités industrielles au droit du CPR.

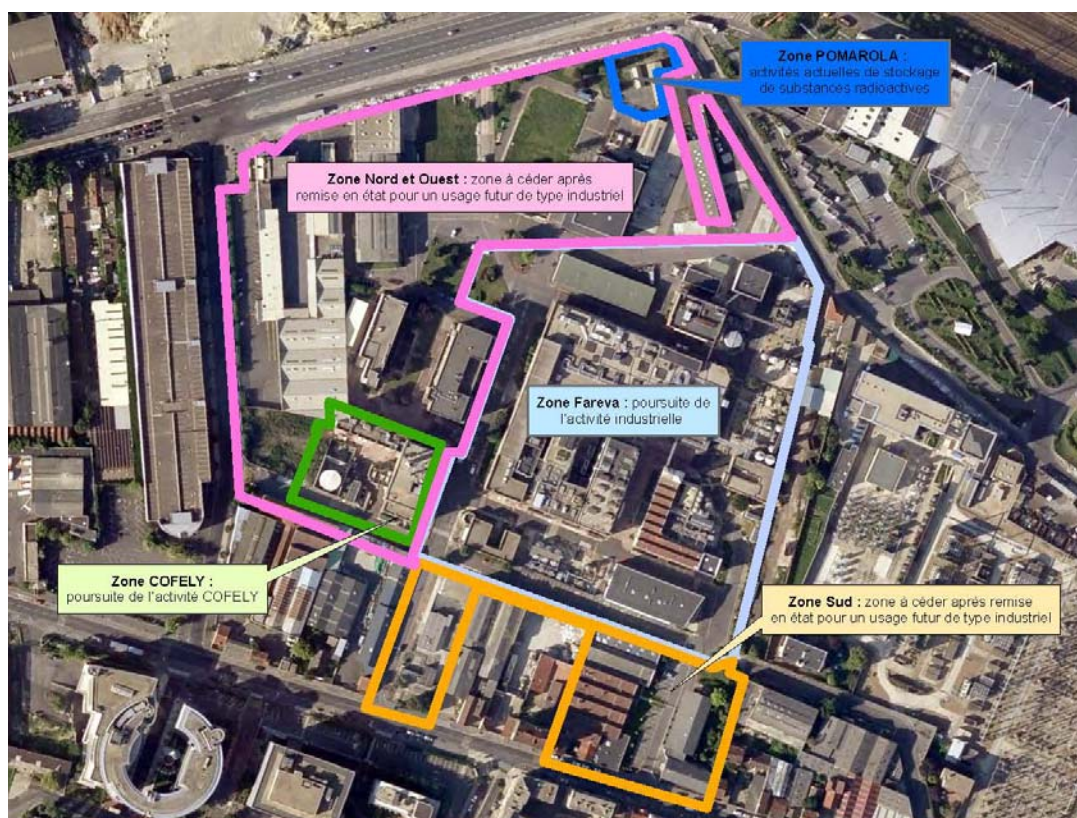
L'emprise de l'ancien CPR se présente aujourd'hui comme suit :

- La zone Est, a été dissociée des autres zones du site et cédée à la société FAREVA. FAREVA, succède à SANOFI CHIMIE comme exploitant des activités de production exercées sur cette zone à compter du 1^{er} janvier 2014 ;
- La zone sur laquelle la société COFELY continue d'exploiter la chaufferie. Cette chaufferie fournit des utilités pour plusieurs industriels du voisinage, dont FAREVA ;
- La zone dite « Pomarola » demeure exploitée par SANOFI CHIMIE pour le stockage de substances radioactives issues des activités de R&D passées ;
- Les autres zones du site, au Nord, à l'Ouest et au Sud, sur lesquelles aucune activité industrielle n'est exercée, sont toujours propriété de SANOFI CHIMIE qui en est le dernier exploitant. Une fois remises en état, ces zones ont vocation à être cédées par SANOFI CHIMIE à SEQUANO dans le cadre du projet de la ZAC de l'Horloge.

Le présent PGS s'applique aux zones sud, ouest et nord de l'ancien CPR (hors emprises COFELY, FAREVA et Pomarola).

Il a été réalisé conformément à la méthodologie du Ministère de l'Environnement (note ministérielle du 08 février 2007 et ses annexes) et a pour but de préciser les modalités de remise en état du site tout en s'assurant de la compatibilité des usages futurs avec l'état résiduel des milieux. Il a été élaboré sur la base de la connaissance des activités historiques du site et des données acquises lors des investigations réalisées au droit et à proximité de l'ancien CPR.

Plan de zonage de l'ancien CPR



Sur la zone d'étude objet du présent PGS, l'étude historique a montré qu'aucune ICPE soumise à autorisation n'a été exploitée après le 30 septembre 2005. Conformément à l'article R.512-39-5 du code de l'Environnement, le dernier exploitant SANOFI CHIMIE est tenu de remettre ces zones en état de manière à ce qu'elles ne puissent porter atteinte aux intérêts mentionnés à l'article L.511-1 du code de l'Environnement et qu'elles permettent un usage futur comparable à la dernière période d'activité des installations, soit un usage de type industriel.

Contexte environnemental

Plusieurs diagnostics environnementaux ont été réalisés au droit du CPR en 2005, 2010, 2011, 2012 et 2013. Ils ont permis de préciser le contexte géologique/hydrogéologique du site, de caractériser les sols, les eaux souterraines et les gaz du sol.

Géologie :

Au droit de l'ancien CPR, les sols sont constitués d'une couche de remblais (matériaux de surélévation utilisés au niveau régional – non liés aux activités industrielles du site) pouvant atteindre quelques mètres, et d'une alternance de couches marneuses et sableuses plus ou moins argileuses.

Hydrogéologie :

Trois aquifères sont identifiés au droit du site.

Une nappe perchée, dont le sens d'écoulement est dirigé vers le nord-ouest, est située dans la formation du Sable de Monceau à une profondeur de 9 m sous le terrain naturel. Aucun usage de cette nappe n'est reporté au voisinage du site. La base de l'aquifère repose sur le Calcaire de Saint-Ouen situé à environ 12 m de profondeur au droit du site.

Une seconde nappe, située dans l'aquifère du Sable de Beauchamp (nappe de l'Eocène), est présente vers 19 m de profondeur sous le terrain naturel. Cette nappe est séparée de la nappe perchée par la formation du calcaire de Saint-Ouen. Des communications hydrauliques entre les deux aquifères ne sont pas exclues. Aucun usage de ces eaux souterraines n'est répertorié au voisinage du site.

Un troisième aquifère est situé à environ 50 m de profondeur sous le site et contient la nappe du Lutétien/Yprésien. Cette nappe d'importance régionale est exploitée dans le secteur, en particulier pour l'Alimentation en Eaux Industrielles (AEI). L'eau de cette nappe était également exploitée par plusieurs puits industriels installés sur l'ancien CPR.

Qualité des milieux

Les investigations de terrain (196 sondages, 31 piézaires, 45 piézomètres dans la nappe perchée, 19 piézomètres dans la nappe éocène) ont montré que plusieurs types de polluants pouvaient être présents dans les remblais et les sols naturels sous-jacents (solvants chlorés et aromatiques, hydrocarbures, métaux, HAP, alcool et acétone) et engendrer un impact sur la qualité des eaux de la nappe perchée et éocène ; aucun impact significatif n'étant détecté dans la nappe du Lutétien/Yprésien.

Les principaux impacts identifiés sont présentés ci-après :

- Zone P1 dite "Léonard de Vinci" (sud-est du site, centrée sur les piézomètres P1 et P1bis) où des impacts en solvants chlorés (principalement du 1,2-DCA), des alcools (principalement l'alcool isopropylique) et de l'acétone ont été identifiés à partir de 7 m de profondeur jusque la zone aquifère de la nappe perchée (soit entre 9 et 12 m de profondeur). La nappe éocène est également impactée, principalement par les COHV (TCE et 1,2-DCA). Les investigations à la date d'aujourd'hui n'ont cependant pas permis d'identifier d'impacts dans les sols au-dessus de 7 m de profondeur ;
- Zone P2 dite "Genevoix" (nord du site, centrée sur les piézomètres P2 et P2bis) où des sols impactés par des solvants aromatiques (benzène et toluène) et des solvants chlorés (principalement du PCE, TCE, cis-1,2-DCE, 1,2-DCA et TCM) ont été identifiés depuis la surface jusqu'à 12 m de profondeur dans la nappe perchée. La nappe éocène est également impactée mais dans une moindre mesure par les mêmes composés que ceux détectés dans la nappe perchée ;
- Zone P3 dite "Chenil" (ouest du site, centrée sur les piézomètres P3 et P3bis) où des sols impactés par des solvants chlorés (principalement du PCE et TCE) ont été identifiés depuis la surface jusqu'à 12 m de profondeur dans la nappe perchée. La nappe éocène est impactée, dans une moindre mesure, par l'arsenic et les COHV (principalement le TCE et le 1,2-DCA) ;

Zone nord-ouest où des sols de surface (essentiellement des remblais) impactés par des métaux et plus localement par des solvants chlorés (principalement du TCE) ont été identifiés jusqu'à une profondeur pouvant atteindre 5 m. perchée est principalement impactée par du chrome (très localement) et les COHV (principalement le TCE et le cis-1,2-DCE). La nappe éocène est impactée, dans une moindre mesure, par l'arsenic et les COHV (principalement le TCE et le 1,2-DCA). Il est à noter que l'impact en arsenic et COHV observé dans les eaux souterraines au droit de la zone nord-ouest est probablement lié à la migration des impacts constatés en amont hydraulique au droit des autres zones.

Schéma conceptuel

Le schéma conceptuel actuel élaboré pour le site tient compte du contexte environnemental, des impacts identifiés sur site et dans les eaux souterraines, de l'usage futur retenu sur site et de l'usage constaté hors site. La maîtrise des risques conduit à développer l'approche suivante :

- Hors site : vérification de la compatibilité de l'état des eaux souterraines à l'aval du site avec les usages constatés ;
- Sur site : élaboration d'un plan de gestion portant sur la réduction de la masse de contaminants des zones sources sols et impacts concentrés dans la nappe perchée afin de réduire les transferts vers les eaux souterraines ainsi que les remontées de vapeurs de polluants au niveau des espaces extérieurs et des bâtiments.

Solutions de gestion envisagées sur site

Des essais pilotes ont été réalisés sur les quatre zones impactées précédemment décrites. Cependant, comme aucune source sol n'a été clairement identifiée et délimitée au droit de la zone P1 et que les essais pilotes effectués sur cette zone n'ont pas été concluants, cette zone ne fait pas partie du présent Plan de Gestion. Elle devra faire l'objet d'investigations complémentaires (sondages, essais pilotes) pour répondre à ces interrogations puis un Plan de Gestion spécifique devra être réalisé pour cette zone P1.

Les solutions potentielles de traitement des zones impactées, P2, P3 et nord-ouest ont fait l'objet d'un bilan coûts-avantages. Sur la base des résultats de ce bilan coût-avantages et tenant compte des limites techniques des mesures de gestion retenues ainsi que des nuisances/contraintes générées par de l'élimination hors site (ex : augmentation du trafic routier, utilisation de ressources naturelles), un traitement sur site des terres et in-situ des eaux souterraines a été privilégié avec des objectifs de retrait des impacts sols fixés à 95 % pour les BTEX et 90 % pour les COHV.

Les solutions de retrait de sources envisagées par SANOFI CHIMIE et validées préalablement par des essais pilotes sont présentées dans le tableau suivant, où elles sont associées à leurs coûts estimés de réalisation. Elles doivent permettre de garantir un traitement rapide et localisé pour un coût acceptable.

Synthèse des coûts des mesures de gestion envisagées sur site

Sols	Type de polluant	Mode de gestion	Taux d'abattement	Délai	Coût
Zones nord-ouest et P2					
Sols de surface	Métaux	Restriction d'usage et couverture	0%	< 1 an	Compris entre 700 000 € et 1 000 000 €
Zone nord-ouest					
Sols de surface (0 - 2 à 5 m)	COHV	- Excavation et traitement sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente) - Remblaiement avec matériaux traités	BTEX: 95% COHV: 90%	< 1 an	Compris entre 950 000 € et 1 200 000 €
P2 Genevoix					
Sols (0 - 11/12 m)	BTEX et COHV	- Excavation et traitement sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente) - Remblaiement avec matériaux traités	BTEX: 95% COHV: 90%	< 1 an	Compris entre 4 100 000 € et 5 000 000 €
Zone saturée et nappe perchée	BTEX et COHV	- Malaxage des terres avec ajout de persulfate de sodium et de peroxyde de calcium	70% à 90%	< 1 an	Compris entre 330 000 € et 420 000 €
Nappe perchée	BTEX et COHV	- Injection de persulfate de sodium et de peroxyde de calcium	50 à 70 %	< 2 ans	Compris entre 200 000 € et 300 000 €
P3 Chenil					
Sols (0 - 11/12 m)	COHV	- Excavation et traitement sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente) - Remblaiement avec matériaux traités	BTEX: 95% COHV: 90%	< 1 an	Compris entre 2 700 000 € et 3 400 000 €
Zone saturée et nappe perchée	COHV	- Malaxage des terres avec ajout de lactate de sodium et d'huile émulsifiée	70% à 90%	< 1 an	Compris entre 200 000 € et 250 000 €
Nappe perchée	COHV	- Injection de lactate de sodium et d'huile émulsifiée	50 à 70 %	< 2 ans	Compris entre 200 000 € et 300 000 €
Eaux souterraines					
Nappe perchée - Zones P2 Genevoix et P3 Chenil et leur aval					
Aval des zones traitées	BTEX et COHV	- Surveillance environnementale	-	4 ans	Compris entre 100 000 € et 150 000 €
Nappe de l'Eocène - Zones P2 Genevoix et P3 Chenil et leur aval					
Aval des zones traitées	COHV	- Atténuation naturelle	30% à 80%	4 ans	Compris entre 100 000 € et 150 000 €

Le coût total de la combinaison de solutions de gestion proposées pour réhabiliter les zones P2, P3 et nord-ouest de l'ancien CPR est compris entre 9,5 M € et 12 M€, auquel s'ajoutent les coûts liés aux investigations et pilotes préalables (soit environ 1 M€).

Échéancier

L'échéancier prévisionnel suivant est actuellement visé pour la mise en œuvre du scénario de gestion retenu par SANOFI CHIMIE, en supposant l'émission d'un arrêté préfectoral encadrant les travaux de réhabilitation fin 2014 :

- 1^{er} semestre 2015 : Zone P3 « Chenil » - Excavation et traitement des sols ; traitement de la zone saturée et de la nappe perchée ;
- 1^{er} semestre 2015 : Zone P2 « Genevoix » - Excavation et traitement des sols ; traitement de la zone saturée et de la nappe perchée ;
- 3^{ème} trimestre 2015 : Excavation et traitement des sols au niveau de la zone nord-ouest ;
- 2015 – 2018 : 4 années de suivi de la qualité des eaux souterraines (nappe perchée et nappe de l'Eocène) dans le cadre d'un bilan quadriennal.

Analyse des Risques Résiduels prédictive et Interprétation de l'État des Milieux

Conformément à la méthodologie de gestion des Sites et Sols Pollués, ont été réalisées :

- Une Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive ;
- Une interprétation de l'état des milieux (IEM).

L'AAR a été réalisée sur site afin de valider la compatibilité des usages prévus sur le site avec son état résiduel après la mise en œuvre des mesures de gestion proposées. Cette analyse des risques est dite « prédictive » car elle est basée sur les concentrations résiduelles dans les sols et les eaux souterraines anticipées a priori sur le site après la mise en place de ces mesures.

L'IEM a été réalisée sur la base des impacts actuels constatés hors-site afin d'évaluer l'exposition des récepteurs identifiés.

Sur site : Les niveaux de risques résiduels après mise en place des mesures de gestion proposées et calculés sur la base des concentrations mesurées avant travaux dans les gaz de sol hors zones sources sont inférieurs aux seuils de référence. Les niveaux de risques calculés montrent donc que les concentrations résiduelles attendues sont compatibles avec un scénario de redéveloppement du site pour un usage industriel.

Hors site : Les niveaux de risques résiduels pour un usage de type résidentiel hors-site (prise en compte de l'usage actuellement constaté le plus sensible) sont inférieurs aux niveaux de risques de référence en considérant, pour les calculs, les concentrations maximales analysées dans les gaz du sol prélevés hors-site. Les niveaux de risques calculés sur la base des concentrations mesurées dans les gaz de sol montrent donc la compatibilité d'usage pour les populations habitant au voisinage du site.

Les solutions de gestion envisagées rendront donc le site compatible pour un usage industriel.

Cette situation sera confirmée par l'analyse des risques résiduels qui sera réalisée à l'issue des travaux de réhabilitation sur la base notamment de 3 campagnes de mesures dans les gaz du sol échelonnées sur une période de 6 mois à 1 an.

Restrictions d'usage

Afin de pérenniser les conditions d'acceptabilité des risques, des restrictions d'usage seront mises en place afin d'interdire, de limiter ou de n'autoriser que sous certaines conditions les usages et les travaux au droit du site et dans son voisinage (ex : site dédié à un usage industriel, espaces verts réalisés sur des terrains sains, restriction d'usage des eaux souterraines, maintien d'un réseau de piézomètres et de piézaires pour la surveillance de la qualité des eaux des nappes et des gaz de sol).

Surveillance environnementale

Concernant les eaux souterraines sur site et en aval hydraulique du site, il est proposé la mise en place de mesures de surveillance dans le cadre du bilan quadriennal.

1 Introduction

1.1 Contexte

Le Centre de Production de Romainville (CPR), site d'une superficie de 7,3 ha localisé sur la commune de Romainville (93), a été exploité successivement par différents exploitants et, depuis le 1^{er} janvier 2006, par la société SANOFI CHIMIE jusqu'au 31 décembre 2013.

Ce site développé industriellement depuis 1933 a accueilli des activités de chimie et biochimie pour le marché pharmaceutique (R & D¹ et production) dès les années 1950. En 2003, l'activité de R&D a entièrement été transférée sur d'autres sites du groupe SANOFI. L'activité de production s'est poursuivie sur la partie Est du CPR.

L'activité de production chimique et biochimique consistait en la fabrication de principes actifs pharmaceutiques (antibiotiques, corticoïdes, vitamines, ...) incluant des opérations de fermentation, d'extraction et de purification. Cette production requérait le stockage et la manipulation de substances chimiques diverses, dont en particulier des solvants, alcools, acides/bases et produits toxiques.

Au 31 décembre 2013, SANOFI CHIMIE s'est désengagée de ses activités industrielles au droit du CPR.

L'emprise de l'ancien CPR se présente aujourd'hui comme suit :

- La zone est, accueillant les activités de production, a été dissociée des autres zones du site et cédée à la société FAREVA. FAREVA, succède à SANOFI CHIMIE comme exploitante des activités de production exercées sur cette zone à compter du 1^{er} janvier 2014 ;
- La zone sur laquelle la société COFELY continue d'exploiter la chaufferie. Elle fournit des utilités pour plusieurs industriels du voisinage, dont FAREVA ;
- La zone dite « Pomarola » demeure exploitée par SANOFI CHIMIE pour le stockage de substances radioactives issues des activités de R&D passées ;
- Les autres zones du site, au nord, à l'ouest et au sud, sur lesquelles aucune activité industrielle n'est exercée, sont toujours propriété de SANOFI CHIMIE qui en est le dernier exploitant. Une fois remises en état, ces zones ont vocation à être cédées par SANOFI CHIMIE à Séquano dans le cadre du projet de la ZAC de l'Horloge.

La société ENVIRON² a été mandatée par SANOFI CHIMIE en 2010, en tant qu'Assistant à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) afin de l'accompagner dans l'application de la méthodologie nationale de gestion des sites et sols potentiellement pollués.

La présente mission consiste à élaborer un Plan de Gestion du Site (PGS) pour les zones de l'ancien CPR appartenant à SANOFI CHIMIE et qui ne sont plus exploitées (zones nord, ouest et sud). Ce PGS a pour but de préciser les modalités de remise en état du site tout en s'assurant de la compatibilité des usages futurs avec l'état résiduel des milieux. Il a été

¹ R & D : Recherche et Développement

² ENVIRON France vise une certification LNE (norme NFX 31 – 620) pour les domaines 2 (études, assistance et contrôles) et 3 (ingénierie des travaux de réhabilitation) pour fin 2014. Les prestations réalisées en attendant cette certification répondent néanmoins aux critères définis par cette norme.

élaboré sur la base de la connaissance des activités historiques du site et des données acquises lors des investigations réalisées au droit de l'ancien CPR, et prenant en considération des usages futurs de type industriel.

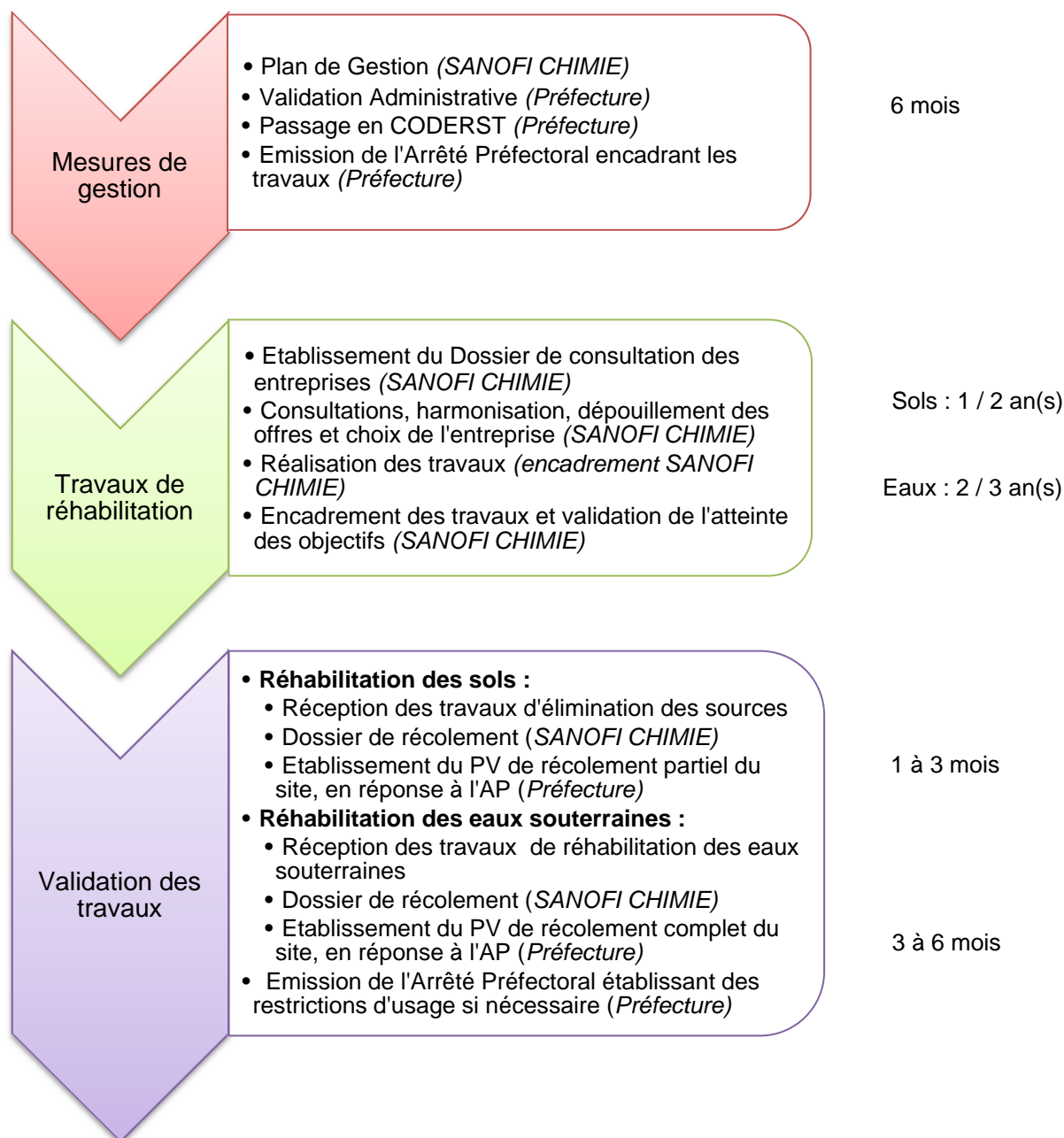
Le présent PGS ne concerne pas les zones occupées aujourd'hui par FAREVA, COFELY, ni la zone « Pomarola ».

1.2 Objectifs et méthodologie

Le présent Plan de Gestion, réalisé conformément à la méthodologie du Ministère de l'Environnement (note ministérielle du 08 février 2007 et ses annexes) :

- Précise l'état des milieux et leurs caractéristiques sur la base des diagnostics réalisés ;
- Établit le schéma conceptuel considérant le contexte environnemental ainsi que les impacts identifiés sur et hors-site. Ce schéma prend en compte un usage du site comparable à la dernière période d'exploitation (article R.512-39-5 du code de l'environnement) et l'usage actuel constaté hors-site ;
- Présente une sélection de techniques de gestion et de dépollution appropriées à la situation, permettant de supprimer ou diminuer les pollutions, évaluées sur la base des performances techniques et d'un bilan coûts-avantages ;
- Valide, par une Analyse des Risques Résiduels prédictive (ARRp), qu'à l'issue des travaux de réhabilitation, le site sera compatible pour un usage industriel et que les terrains hors-site seront compatibles avec les usages constatés ;
- Propose une ébauche de restrictions d'usage qui seront nécessaires afin de pérenniser les conditions d'acceptabilité des risques.

La chronologie prévisionnelle des différentes grandes étapes à mener pour réhabiliter le site est présentée sur le schéma suivant :



2 Présentation du site

2.1 Localisation et voisinage de la zone d'étude

L'ancien CPR est implanté sur la commune de Romainville (93 – cf. Figure 1) au 111-143, avenue Gaston Roussel (Route Départementale 116). La topographie du site est globalement plane et son altitude moyenne est de 60 m NGF.

Comme de nombreux sites industriels, dans les années 1940, le CPR était implanté en périphérie de zones urbanisées dans un environnement à dominante agricole et industrielle. Aujourd'hui, ce site se trouve dans une zone à usage mixte (usages industriel, commercial et tertiaire, résidentiel) dense. Le voisinage immédiat de la zone d'étude est constitué par (cf. Figure 2) :

- Au nord : la Route Nationale 3, un ancien site industriel (en cours de réaménagement), puis à environ 100 m, le Canal de l'Ourcq qui s'écoule d'Est en Ouest, et la gare de triage de Pantin et enfin les voies ferrées associées ;
- À l'est : quelques habitations de part et d'autre de la rue Jean-Jacques Rousseau, un poste électrique exploité par EDF et la déchetterie du SYCTOM au nord-est, au-delà des bâtiments industriels sur plusieurs centaines de mètres ;
- Au sud : l'avenue Gaston Roussel (anciennement Route de Noisy) et des bâtiments de bureaux et de laboratoires (dont le centre de recherche BIOCITECH et le siège de la Croix Rouge), au-delà, des bâtiments industriels et des maisons individuelles à environ 200 m ;
- À l'ouest : la Rue de la Commune de Paris puis des parkings, quelques maisons individuelles, un hôtel, quelques commerces, des bâtiments industriels (menuiserie, métallerie aluminium TECHNAL), entrepôts et entreprises (COP COPINE, UTB) et des garages automobiles fermés ou en activité.

2.2 Zonage de l'ancien CPR et emprise du Plan de Gestion

L'ancien CPR peut être divisé en cinq zones en fonction de la nature des activités exercées qui ont été arrêtées ou qui sont en cours d'exploitation (voir Figure 3 et Figure 4) :

❖ La zone Est (FAREVA)

Cette zone a accueilli les activités de production de SANOFI CHIMIE. Celles-ci ont été transférées à FAREVA qui est l'actuel exploitant et propriétaire des installations et terrains depuis le 1^{er} janvier 2014.

Cette zone ne fait pas partie du plan de gestion.

❖ La zone COFELY

Sur cette zone, dont le foncier est propriété de SANOFI CHIMIE, la société COFELY continue d'exploiter la chaufferie pour les besoins énergétiques des installations de plusieurs industriels du voisinage, dont FAREVA.

Cette zone ne fait pas partie du plan de gestion.

❖ La zone Pomarola

Sur cette zone, dont le foncier est propriété de SANOFI CHIMIE, une activité de stockage de substances radioactives demeure. Il s'agit d'un stockage en attente de la mise en œuvre, sous l'égide de l'Agence Nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA), de solutions de traitement de ces déchets. Les solutions de traitement dans des filières appropriées sont en cours de détermination. Cette zone ne fait pas partie du plan de gestion.

❖ La zone sud

Diverses activités se sont succédé sur cette zone, qui a principalement accueilli des activités de stockage de produits chimiques. Ces activités de stockage ont été arrêtées avant 2003 et cette zone a ensuite été exclusivement utilisée pour un usage non industriel (cantine, bureau). Cette zone est propriété de SANOFI CHIMIE et fait partie du Plan de Gestion.

❖ Les zones ouest et nord (hors emprises COFELY et Pomarola)

Ces zones ont accueilli les activités de R&D du site, exploitées en dernier lieu par la société Aventis Pharma SA jusqu'à leur transfert sur d'autres sites en 2003. Malgré que certaines rubriques liées aux activités de R&D aient été maintenues dans l'Arrêté Préfectoral du CPR en date du 23 juin 2003, ces installations classées n'ont plus été exploitées sur le site et n'ont donc pas été reprises par SANOFI CHIMIE.

Le bâtiment Polonceau a abrité l'activité de travail mécanique de métaux exercée par des entreprises extérieures jusqu'en 2011.

Ces zones sont propriété de SANOFI CHIMIE et font partie du Plan de Gestion.

Le présent PGS s'applique aux zones sud, ouest et nord de l'ancien CPR (hors emprises COFELY, FAREVA et Pomarola), identifiées sous la terminologie « zone d'étude » dans la suite du document.

2.3 Situation cadastrale

SANOFI CHIMIE est propriétaire des parcelles concernées par le Plan de Gestion. Ces parcelles sont inscrites au cadastre de Romainville (cf. Annexe A), sous les sections suivantes :

Section C : parcelles 50, 51 et 74 (zone Sud).

Section D :

- Parcelles 8, 9, 17p et 34 (zone Sud) ;
- Parcelles 17p, 26p, 28, 29, 30, 36p, 37p, 39, 40, 47, 49, 53, 57, 58p et 59 (zones ouest et nord-ouest).

Section E : parcelles 79 et 80 (zones ouest et nord-ouest).

Ces parcelles représentent une surface totale de 44 347 m².

2.4 Règle d'urbanisme

L'ancien CPR est classé en secteurs UD et UZb du Plan Local d'Urbanisme (P.L.U.) de Romainville (modification n°4 de mars 2013, cf. Annexe B). Il s'inscrit dans le périmètre de la ZAC de l'Horloge et la partie nord du site est incluse dans le périmètre de protection des monuments historiques.

La zone UD correspond aux parties de la commune à vocation d'activité industrielle et artisanale. La zone UZb a pour objectif d'accueillir des activités mixtes (notamment logements, activités tertiaires, artisanales et/ou industrielles). Un plan de zonage est fourni en Annexe B.

Il convient de noter que la remise en état pour un usage comparable à celui de la dernière période d'activité des installations, c'est-à-dire de type industriel, apparaît cohérente avec le PLU.

2.5 Historique des activités

L'historique des activités au droit de l'ancien CPR³ repris dans le présent document est issu de l'étude historique et documentaire du site réalisée en 2005⁴. Les principales figures de synthèse de cette étude sont reprises en Annexe C.

La première utilisation du site pour des activités industrielles date de 1933 d'après la revue des photographies aériennes. Le site a été acheté par Gaston Roussel et Henry Prénau et dédié en 1947 à des activités de production pharmaceutique de la pénicilline par fermentation (Société Française de Pénicilline – SOFRAPEN). Les premières constructions sont les bâtiments Carrel, Raulin, Cuvier et la centrale thermique. En 1952, le groupe Roussel-UCLAF (dont SOFRAPEN fait partie) est créé par Jean-Claude Roussel. Le site de l'ex-SOFRAPEN, rebaptisé « usine 4 » au début des années 60, est rapidement modernisé et étendu. Aux premières constructions viennent s'adjoindre une série de nouveaux laboratoires de chimie de transformation et d'essais, des bureaux, une animalerie, des ateliers de maintenance et d'expédition et de nouveaux fermenteurs qui nécessiteront l'extension du bâtiment Cuvier. En 1974, la famille Roussel laisse la majorité du capital de la société à l'allemand Hoechst qui créera en 1996 le groupe Hoechst-Marion-Roussel (HMR). En 1998, HMR et Rhône-Poulenc fusionnent pour donner naissance au groupe Aventis. À partir des années 2000, les activités du site de production de Romainville sont recentrées autour de la production biochimique (antibiotiques, anti-inflammatoires et vitamines). En 2003, les activités de R&D sont déplacées sur d'autres sites. Puis, en 2004, survient la formation du groupe Sanofi-Aventis avec l'acquisition du groupe Aventis par le groupe Sanofi-Synthélabo. En 2012, le nom du groupe est simplifié et devient SANOFI.

Entre 2000 et 2013, de nombreux bâtiments ont été désaffectés ou démolis.

³ Il convient de noter que, par souci de clarté, ce paragraphe concerne l'ancien CPR dans sa globalité, soit des emprises hors de la zone d'étude définie pour le présent PGS.

⁴ Rapport Burgéap n°RPE 4970 intitulé « Diagnostic de pollution du sous-sol, Etape A : Etude historique et documentaire » daté du 3 mai 2005

Dans le cadre de la mise en sécurité du site :

- La majorité des bâtiments et infrastructures a été démantelée au niveau de la zone d'étude du présent PGS (cf. Figure 3) ;
- Les déchets ont été évacués ;
- Interdictions ou limitations d'accès : la zone d'étude est entièrement clôturée et une société de gardiennage assure la surveillance du site.

Les bâtiments suivants ont été démolis en 2013 :

- Bâtiment Genevoix : Stockage de produits divers ;
- Bâtiment Polonceau : ancien atelier de chaudronnerie, tuyauterie et électricité ;
- Magasin, réception, vrac ;
- Tour Nord.

Les bâtiments suivants ont été démolis avant 2013 :

- Bâtiment Becquerel : anciennement utilisé pour le stockage de substances radioactives et les opérations de marquage moléculaire, et en cours de destruction en février 2005. Des travaux de dépollution du sous-sol contaminé par des radioéléments ont été réalisés sous le contrôle de l'IRSN. Ces travaux ont été achevés en 2009. Le rapport final du démantèlement et de la démolition du bâtiment Becquerel a été transmis à la Préfecture de la Seine-Saint-Denis en avril 2009 qui l'a jugé recevable par courrier en date du 11 février 2010 ;
- Bâtiment Nicolle : ancien atelier de production et de stockage ;
- Bâtiment De Lattre : ancienne cantine ;
- Bâtiment Chenil ;
- Bâtiment Chauveau : ancien laboratoire ;
- Parc destruction.

Les bâtiments suivants sont encore en place mais désaffectés :

- Bâtiment Nocard : ancien laboratoire ;
- Bâtiment Carrel : ancien laboratoire ;
- Bâtiment Le Verrier : ancien magasin et parc de stockage ;
- Bâtiment Lafayette : anciens laboratoires et bureaux ;
- Bâtiment Claude Monet : ancienne cantine.

D'après l'étude historique de 2005, les activités au droit du site comprenaient :

- Stockage de substances chimiques en cuves (parc à solvants, ...) ;
- Stockage de matières premières en fûts, conteneurs, big bags (parc à fûts, magasins, ...) ;
- Ateliers de production pharmaceutique ;
- Laboratoires R&D ou qualité ;
- Ateliers de chaudronnerie et traitement de surface ;
- Stockage de déchets et incinérateurs (parc destruction, ...) ;
- Chaufferies et cuves de stockage de mazout ;
- Postes de transformation.

De nombreuses substances chimiques étaient utilisées sur le site :

- Solvants et alcools : butanol, méthanol, phénol, acétate de butyle, acétone, améthylcétone, méthyléthylcétone (MEK), benzène, toluène, diméthylamine, dichloroéthane (DCA), trichloroéthylène (TCE), chloroforme (TCM) ;
- Acides/bases : acide sulfurique, acide chlorhydrique, acide propionique, acide acétique, ammoniacque, soude ;
- Fioul domestique.

2.6 Situation administrative (ICPE) de la zone d'étude

Les activités relevant de la nomenclature ICPE exploitées au droit de la zone d'étude sont présentées sur la Figure 5 et dans l'Annexe C.

Activités soumises à autorisation

Les activités soumises à autorisation exploitées par le passé dans la zone d'étude correspondent aux rubriques suivantes :

- 1150-1-b, 1150-2-b, 1150-3-b, 1150-4-b et 1150-5-b : fabrication industrielle, formulation et conditionnement de ou à base de substances et préparations toxiques particulières ;
- 2120-1 : établissement d'élevage, vente, transit, garde, fourrières de chien ;
- 2731 : dépôts de chairs, cadavres, débris ou issues d'origine animale à l'exclusion des dépôts de peaux ;
- 1710-1 : préparation, fabrication, transformation et conditionnement de substances radioactives.

Ces installations ont été arrêtées avant ou au moment du transfert des activités de recherche sur d'autres sites, au plus tard en 2003.

La cessation définitive des rubriques 1150-1-b, 1150-2-b, 1150-3-b, 1150-4-b et 1150-5-b, 2120-1 et 2731 est détaillée dans le dossier de régularisation des déclarations de cessation d'activité adressé en Préfecture le 1^{er} juillet 2008.

Le bâtiment accueillant l'activité soumise à la rubrique 1710-1 a été démantelé et détruit. Le mémoire de remise en état du site relatif au démantèlement de ce bâtiment a été transmis au Préfet le 30 juin 2004.

Activités soumises à déclaration

Les activités soumises à déclaration exploitées par le passé dans la zone d'étude correspondent aux rubriques suivantes :

- 1180-1 : utilisation de composants, appareils et matériels imprégnés de polychlorobiphényles ;
- 1220-3 : emploi et stockage d'oxygène ;
- 1418-3 : emploi ou stockage d'acétylène ;
- 2560-2 : travail mécanique des métaux et alliages.

L'ensemble de ces activités est aujourd'hui arrêté.

La dernière installation classée exploitée sur cette zone a été déclassée en 2011 puis transférée sur la zone est en 2012, tel que notifié au Préfet par courrier du 22 novembre 2011. Il s'agit de l'activité de travail mécanique des métaux et alliages classée sous la rubrique 2560-2.

Comme indiqué dans le courrier du site au Préfet en date du 09 mai 2006, les installations soumises à la rubrique 1180-1 ont été arrêtées en 2005 puis 2006, et les installations accueillant les activités de stockage soumises aux rubriques 1220-3 et 1418-3 ont été démantelées en 2004.

2.7 Usages futurs

Une fois remises en état, ces zones ont vocation à être cédées par SANOFI CHIMIE à SEQUANO dans le cadre du projet de la ZAC de l'Horloge. La cession sera probablement effective courant 2016.

Par ailleurs, il est prévu la réalisation en 2015 d'un bassin de rétention des eaux incendie de capacité d'environ 700 m³ pour le compte de la société FAREVA. La localisation prévisionnelle de ce bassin se situe dans la partie sud de la zone ouest. La réalisation de ce bassin est actuellement au stade de projet.

2.8 Conclusion

Sur la zone d'étude objet du présent PGS, l'étude historique a montré qu'aucune activité ICPE soumise à autorisation n'a été exploitée après le 30 septembre 2005. Conformément à l'article R.512-39-5 du code de l'Environnement, le dernier exploitant SANOFI CHIMIE est tenu de remettre ces zones en état de manière à ce qu'elles ne puissent porter atteinte aux intérêts mentionnés à l'article L.511-1 du code de l'Environnement et qu'elles permettent un usage futur comparable à la dernière période d'activité des installations, soit un usage de type industriel.

3 Contexte environnemental

3.1 Formations géologiques rencontrées au droit du site

D'après la carte géologique du secteur⁵ (cf. Figure 6) et les données disponibles (base de données Infoterre⁶, étude environnementale réalisée sur le site par Burgéap⁷, coupes géologiques des captages industriels du site et coupes géologiques des piézomètres installés sur site entre 2005 et 2013), les formations géologiques rencontrées au droit de la zone d'étude sont les suivantes (cf. Figure 7) :

- Remblais sablo-limoneux à argileux de teinte brune à noire se mêlant à des débris de démolition de type briques et gravats d'une épaisseur variable sur l'ensemble du CPR (1 - 4 m) ;
- Alternance de bancs marneux et gypseux de teinte beige crème du Ludien (5 - 10 m) et des sables de teinte gris verdâtre de Monceau localement argileux (2 - 3 m). Ces formations peuvent localement être aquifères ;
- Formation marno-calcaire de teinte blanc beige de St-Ouen (7 - 8 m) puis les sables de Beauchamp de teinte gris vert (7 - 8 m), constituant un aquifère ;
- Marnes et caillasses du Lutétien (8 - 10 m) ;
- Calcaire grossier et fracturé et localement karstifié du Lutétien (25 m), puis sables avec niveaux argileux de l'Yprésien (15 - 16 m). Cette formation est aquifère ;
- Argile plastique de l'Yprésien, formation imperméable d'environ 20 m d'épaisseur. Cette formation constitue un écran de protection pour les formations aquifères plus profondes (aquifères de la Craie et de l'Albien).

La commune de Romainville est implantée dans le bassin sédimentaire parisien qui se caractérise par l'absence d'accidents tectoniques majeurs. Cependant, un anticlinal est présent au sud de Romainville, Noisy-le Sec et du Pré Saint-Gervais. Ainsi, les formations rencontrées au droit du CPR possèdent un léger pendage en direction du nord-ouest.

3.2 Hydrogéologie et usages des eaux souterraines

3.2.1 Nappes rencontrées au droit du site

Une coupe hydrogéologique est présentée en Figure 7.

La première nappe identifiée au droit du CPR (9 m de profondeur) est une « nappe perchée » située dans les formations du Bartonien et du Sable de Monceau (cette nappe a été identifiée lors des sondages réalisés en 2011 sur site). Il s'agit d'une nappe de faible puissance dont le sens d'écoulement est dirigé vers le nord-ouest au droit de l'ancien CPR (voir Figure 10). Compte tenu du caractère semi-perméable des formations (marnes infra

⁵ Carte BRGM de Paris au 1/25 000^{ème}

⁶ Base de données du BRGM <http://Infoterre.brgm.fr>

⁷ Rapport Burgéap n°RPE 4970 intitulé « Diagnostic de pollution du sous-sol, Etape A : Etude historique et documentaire » daté du 3 mai 2005

gypseuses et Sable de Monceau), ces arrivées sont peu décrites dans la littérature et sont souvent rattachées à l'ensemble hydrogéologique sous-jacent de l'Eocène supérieur.

La seconde nappe rencontrée au droit du site est la « nappe de l'Eocène » dont le niveau statique se stabilise vers 20 m de profondeur et dont le sens d'écoulement est dirigé vers l'ouest au droit du site (voir Figure 12). D'après les données de terrain, l'eau souterraine circule principalement au sein de la formation des Sables de Beauchamp, selon un écoulement en milieu poreux. Un écoulement en milieu fissuré et localement karstique est également possible quand l'eau souterraine circule dans la formation des Calcaires de Saint-Ouen sus-jacente. Dans ce type de formation, il est difficile de définir un sens d'écoulement précis à une échelle locale.

Un aquifère plus profond est rencontré à partir de 40 m de profondeur, il contient la « nappe du Lutétien/Yprésien » dont le niveau statique se stabilise vers 50 - 55 m de profondeur au droit du site. Des captages ont été installés sur le CPR pour intercepter cette nappe et alimenter en eaux industrielles (AEI) le site. Cette nappe d'importance régionale est exploitée dans le secteur, en particulier pour l'Alimentation en Eaux Industrielles (AEI).

La nappe de la craie se situe vers 100 m de profondeur. Au niveau du site, cette nappe est probablement en charge sous l'argile plastique de l'Yprésien qui lui confère une bonne protection vis-à-vis des éventuelles pollutions de surface. Aucun captage susceptible d'utiliser cette ressource n'est répertorié dans la base de données Infoterre dans un rayon d'1 km autour du site.

La nappe profonde de l'Albien, protégée par plusieurs niveaux imperméables et donc sans relation avec les nappes supérieures, est rencontrée à partir de 600 m/TN. Cette nappe, de par sa qualité exceptionnelle, est une réserve stratégique d'eau douce et son exploitation est réglementée.

3.2.2 Usages des eaux souterraines

D'après l'étude historique réalisée par Burgéap, les données communiquées par l'Agence Régionale de Santé (ARS) de Seine Saint Denis, l'agence de l'eau Seine-Normandie, ainsi que la consultation de la base de données Infoterre, les captages suivants sont recensés dans les environs du site.

Captages pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP)

Il n'existe pas de captages publics d'eau destinés à la consommation humaine sur la commune de Romainville. Le captage le plus proche est celui de Pantin, situé à environ 2,4 km à l'ouest du site, qui capte la nappe profonde de l'Albien (à plus de 800 m de profondeur). Cette nappe profonde, considérée comme une ressource stratégique, est parfaitement protégée des pollutions de surface par les formations géologiques qui la surmontent.

Captages pour l'Alimentation en Eau Industrielle

D'après les informations disponibles auprès de l'Agence de l'Eau Seine Normandie, les deux premières nappes (nappe perchée et nappe de l'Eocène) ne sont pas utilisées dans le secteur d'étude.

Des ouvrages (F44 et F46, voir Figure 13) captant la nappe du Lutétien/Yprésien et installés entre 70 et 106 m de profondeur sont localisés au de la zone d'étude. Ces ouvrages ont été

comblés par SANOFI CHIMIE dans les règles de l'art en 2013 et les rapports de comblement ont été transmis en Préfecture par courrier en date du 29 octobre 2013.

D'après la base de données Infoterre, outre les captages AEI du site, un captage AEI (d'une profondeur de 73 m de profondeur) est répertorié à environ 150 m au sud-est (amont hydraulique supposé).

Trois captages industriels sont recensés en aval hydraulique du site. Ils sont situés à plus de 1,5 km du site sans précision sur l'aquifère capté.

Puits privés

L'Agence de l'Eau indique que les eaux de la nappe de l'Eocène Supérieur ne sont pas utilisées dans le secteur d'étude en raison de leur mauvaise qualité, ceci étant dû à leur forte vulnérabilité vis-à-vis des pollutions de surface. Ces informations ont été confirmées par les données disponibles sur la base de données Infoterre.

D'après cette base de données (consultée en mai 2014) aucun puits privé n'est implanté sur les propriétés situées en aval de la zone d'étude, entre celle-ci et le canal de l'Ourcq.

Règlement sanitaire départemental de Seine Saint Denis

Le règlement sanitaire départemental du 93 indique que l'emploi des eaux de la nappe superficielle est interdit pour tous les usages alimentaires et domestiques et que, en l'absence d'une distribution publique d'eau potable, l'usage des eaux des nappes profondes pour l'alimentation humaine est subordonné à une autorisation délivrée par l'autorité sanitaire.

3.2.3 Vulnérabilité et sensibilité des eaux souterraines

La nappe perchée et la nappe de l'Eocène sont considérés comme très vulnérables mais leur sensibilité est jugée faible en l'absence d'usage de ces eaux souterraines dans le secteur d'étude.

Il existe des phénomènes de drainance entre la nappe de l'Eocène supérieur et la nappe du Lutétien/Yprésien ce qui rend cette dernière relativement vulnérable aux pollutions de surface. Néanmoins, au droit du site, les analyses réalisées dans les eaux prélevées au droit des captages AEI n'ont pas mis en évidence d'anomalies majeures de concentrations en substances identifiées dans les nappes sus-jacentes. La sensibilité de la nappe du Lutétien/Yprésien est jugée moyenne en l'absence d'usage sensible de ces eaux souterraines dans le secteur d'étude (AEI non sensible uniquement).

Les eaux souterraines des aquifères sous-jacents sont peu vulnérables car protégées des pollutions de surface par des niveaux géologiques peu perméables ; en revanche, de par leur potentiel usage pour l'alimentation en eaux industrielles ou en eau potable, leur sensibilité est modérée à élevée.

3.3 Hydrologie et eaux de surface

3.3.1 Réseau hydrologique au voisinage du site

Le Canal de l'Ourcq se trouve à environ 100 m au nord du site. Il s'agit d'un canal de dérivation de l'Ourcq qui suit le cours de la rivière Ourcq jusqu'à Mareuil-sur-Ourcq (Oise) pour rejoindre directement Paris-La Villette et se jeter dans la Seine via les canaux de Saint-Denis et Saint-Martin.

Au niveau du site, des murs de quai constituent les berges du canal et le fond du canal est à une cote d'environ 49 m NGF⁸.

Le niveau de la nappe perchée, en rive gauche du Canal de l'Ourcq, est compris entre 45 et 48 m NGF (soit 1 à 4 m sous le niveau du fond du canal⁹). La nappe perchée n'alimente donc pas le Canal de l'Ourcq à proximité du CPR.

La Seine se trouve à environ 7,5 Km au sud-ouest du site et la Marne à environ 8,5 km au sud-est.

3.3.2 Usages des eaux de surface

Le canal de l'Ourcq est une voie navigable qui supporte un trafic commercial et de plaisance relativement important. Par ailleurs, il constitue une zone de pêche-loisir. Aucun autre usage des eaux superficielles n'a été recensé au voisinage de la zone d'étude.

3.3.3 Vulnérabilité et sensibilité des eaux de surface

La vulnérabilité du canal de l'Ourcq à une éventuelle pollution peut être considérée comme faible. Ce canal, compte tenu de son usage, présente une sensibilité élevée.

3.4 Risques naturels et technologiques

La commune de Romainville est concernée par des risques d'inondation et de mouvements de terrain. Selon la base de données PRIMNET, l'ancien CPR est situé en dehors des zones à risques identifiées.

3.5

Risques industriels

Une recherche dans les bases de données publiques nationales suivantes a été effectuée :

- BASIAS (Inventaire des activités industrielles historiques et de service) ;
- BASOL (Base de données sur les sites et sols (potentiellement) pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif) ;
- IREP (Registre français des émissions polluantes) a été effectuée afin d'évaluer la présence de potentiel de risque industriel à proximité du site.

Les résultats de ces consultations sont présentés à la page suivante.

⁸ Etude hydrogéologique des abords du canal de l'Ourcq entre l'écluse de Sevrans et le bassin de la Villette à Paris – BRGM – Juin 1976

⁹ Niveaux piézométriques de la nappe perchée relevés dans les ouvrages P31bis, P32bis et P33bis implantés entre le CPR et le Canal de l'Ourcq (campagnes 2012 et 2013)

Dans un rayon de 500 m autour du site SANOFI, la base de données BASIAS recense les 35 sites suivants :

Raison sociale	Référence	Positionnement par rapport au site SANOFI	Etat du site	Début des activités	Fin des activités	Activités
FILHO (Sté des Ets)	IDF9302951	119m au sud, en latéral	Activité terminée	1905	1994	Chaudronnerie, tonnellerie
AGREEMENT EMBALLAGES ; FABRY et Cie	IDF9302952	140m au sud-ouest, en latéral	En activité	1930		Fabrication d'emballages en bois
BECKER Frères (SARL)	IDF9305294	170m à l'est, en latéral	Inconnu	1993	1993	Démantèlement d'épaves, récupération de matières métalliques recyclables (ferrailleur, casse auto...)
ROHART (Sté) - ELECTROLYSE (Sté) ; BORELAC (Sté)	IDF9302950	188m au sud-est, en amont	En activité	1951		Fabrication et/ou stockage (sans application) de peintures, vernis, encres et mastics ou solvants;Fabrication et préparation de produits abrasifs et de produits minéraux non métalliques n.c.a.;Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.);Traitement et revêtement
Le BRONZE INDUSTRIEL	IDF9304575	198m au nord-ouest, en aval	Inconnu	1989	1989	Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements
BECQUAERT (Sté) ; BECQUAERT et PETIT	IDF9304570	209m à l'ouest, en latéral	Inconnu	1945	1945	Fonderie de métaux légers
EDF	IDF9302949	240m au sud-est, en amont	En activité	1930		Production, transport et distribution d'électricité
Le BRONZE INDUSTRIEL	IDF9302234	247m au nord, en latéral	Inconnu	1987	1992	Utilisation de sources radioactives et stockage de substances radioactives (solides, liquides ou gazeuses) ;Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements
Les GRANDS MOULINS de BOBIGNY	IDF9302233	248m au nord, en latéral	Activité terminée	1934	1975	Travail des grains (farine) ; fabrication de produits amylacés;Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)
TIRU - Sté de TRAITEMENT INDUSTRIEL des RESIDUS URBAINS	IDF9304584	250m à l'est, en latéral	Inconnu	1909	1975	Collecte et stockage des déchets non dangereux dont les ordures ménagères (décharge d'O.M. ; déchetterie)
SUPRA PENN	IDF9304573	260m au nord-ouest, en aval	Inconnu	1947	1947	Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)
GARAGE AUTO SAINT LOUIS - PEUGEOT	IDF9303902	272m à l'ouest, en latéral	En activité	1992		Entretien et réparation de véhicules automobiles (ou autres)
UCLAF ; Sté METALLURGIQUE LIOTARD et frères ; ANCIENS Ets LALOMIGNONAC	IDF9302959	274m à l'est, en latéral	Activité terminée	1914	1964	Fabrication et/ou stockage (sans application) de peintures, vernis, encres et mastics ou solvants;Chaudronnerie, tonnellerie;Forge, marteaux mécaniques, emboutissage, estampage, matriage découpage ; métallurgie des poudres;Traitement et revêtement des métaux
MENDES (SARL)	IDF9302953	306m au sud-ouest, en latéral	Activité terminée	1952	1994	Industrie chimique
MAG FRANCE	IDF9302947	308m au sud-est, en amont	Activité terminée	1992	1992	Imprimerie et services annexes (y compris reliure, photogravure,...)
VANHERCK (Etablissement)	IDF9304569	329m à l'ouest, en latéral	Inconnu	1986	1986	Fonderie de métaux légers
CHAUVIN et Cie	IDF9302948	333m au sud-est, en amont	Activité terminée	1952	1981	Fabrication de gaz industriels;Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements;Traitement et revêtement des métaux (traitement de surface, sablage et métallisation, traitement électrolytique, application de vernis et peintures
SOBOL et Cie	IDF9303887	342m à l'ouest, en latéral	Activité terminée	1992	1992	Entretien et réparation de véhicules automobiles (ou autres)
PANNEAUX VIDAL ; DONESSA	IDF9302946	347m au sud-est, en amont	En activité	1950		Chaudronnerie, tonnellerie;Fabrication de placage et de panneaux de bois (aggloméré, contre-plaqué, ...)
DESCHIENS ; DAUTREVILLE et LEBAS ; CARNINE - LEFRANCQ ; LEFRANCQ ; SOEKAMI - LEFRANCQ	IDF9302958	356m à l'ouest, en latéral	Activité terminée	1902	1998	Fabrication de produits pharmaceutiques de base et laboratoire de recherche
AVENTIS PHARMA ; HOECHST MARION ROUSSEL ; ROUSSEL UCLAF ; UCLAF - UNION CHIMIQUE des LABORATOIRES FRANÇAIS	IDF9302954	365m au sud-ouest, en latéral	En activité	1911		Fabrication de produits pharmaceutiques de base et laboratoire de recherche;Stockage de produits chimiques (minéraux, organiques, notamment ceux qui ne sont pas associés à leur fabrication, ...);Production animale;Fabrication d'équipements électriques;
GARAGE de la PORTE DOREE	IDF9303895	382m à l'ouest en latéral	En activité	2003		Garages, ateliers, mécanique et soudure
SOTRAMA ; BOUCHEREAU (M.)	IDF9302945	407m au sud-est, en amont	Activité terminée	1964	1982	Entretien et réparation de véhicules automobiles (ou autres);Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)
FIMOUBE & Cie	IDF9305242	410m à l'ouest, en latéral	Inconnu	1927	1927	Fabrication de produits pharmaceutiques de base et laboratoire de recherche
PUMA ; ESSENCES et CARBURANTS de FRANCE - sté CARDIS ; CIMA	IDF9302235	411m à l'ouest, en latéral	Inconnu	1977	1992	Fabrication, transformation et/ou dépôt de matières plastiques de base (PVC, polystyrène,...);Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.);Commerce de gros, de détail, de desserte de carburants en magasin spécialisé (station service de toute capacité de stockage
SYCTOM - IPODEC - GENERIS	IDF9302961	417m au nord-est, en latéral	En activité	1987		Collecte et stockage des déchets non dangereux dont les ordures ménagères (décharge d'O.M. ; déchetterie);Démantèlement d'épaves, récupération de matières métalliques recyclables (ferrailleur, casse auto...)
SNCF - REGION PARIS EST	IDF9302236	435m au nord-ouest, en aval	En activité	1967		Transport et installations ferroviaire interurbain de voyageurs (gare de triage et entretien des locomotives);Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)
X	IDF9302960	438m au nord-est, en latéral	Activité terminée	1902	1909	Dépôt d'immondices, dépotoir à vidanges (ancienne appellation des déchets ménagers avant 1945)
AMS - ASCENSEUR, MONTAGE, SERVICE ; RED et MAD ; RED	IDF9302944	446m au sud-est, en amont	En activité	1933		Autres activités manufacturières n.c.a. (crin, brosse, duvet, horlogerie, objets et bijoux fantaisie, ...)
MBK	IDF9305314	453m au nord-est, en latéral	Inconnu	1992	1992	Fabrication de motocycles et de bicyclettes et véhicules pour invalides
SANAM - M. FLAMANT	IDF9302238	454m au nord, en latéral	Activité terminée	1965	1971	Traitement et revêtement des métaux (traitement de surface, sablage et métallisation, traitement électrolytique, application de vernis et peintures);Activités et entreprises de nettoyage et/ou de vidange
ISH - INSTITUT DE SEROTHERAPIE HEMOPOIETIQUE	IDF9302957	455m à l'ouest, en latéral	Inconnu	1911	1994	Fabrication de produits pharmaceutiques de base et laboratoire de recherche
FRANCE METAL RECYCLAGE ; FERINOX ; ANTARGAZ ; Sté d'IMPORTATION et de TRANSPORT de PETROLE ; CARPATHY	IDF9302237	480m au nord, en latéral	Activité terminée	1937	1992	Dépôt ou stockage de gaz (hors fabrication cf. C20.11Z ou D35.2);Démantèlement d'épaves, récupération de matières métalliques recyclables (ferrailleur, casse auto...)
CIMM (Entreprise)	IDF9304585	494m au sud-est, en amont	Inconnu	1952	1952	Fabrication et/ou stockage (sans application) de peintures, vernis, encres et mastics ou solvants;Traitement et revêtement des métaux (traitement de surface, sablage et métallisation, traitement électrolytique, application de vernis et peintures)
FONDERIES et ACIERIES de PARIS et d'OUTREAU ; FONDERIES FORGES et ACIERIES de PARIS et de la SEINE	IDF9302988	497m à l'est, en latéral	Activité terminée	1922	1980	Fabrication de gaz industriels;Fonderie d'acier;Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements;Traitement et revêtement des métaux (traitement de surface, sablage et métallisation, traitement électrolytique

Dans un rayon de 2 000 m autour du site SANOFI, la base de données BASOL recense les 7 sites suivants :

Nom usuel du site	Numéro BASOL	Adresse	Positionnement par rapport au site SANOFI	Descripton du site / pollution observée et travaux effectués
POLIDECOR	93.0047	2 avenue des Bretagnes à Pantin	500m à l'ouest, en aval latéral	<p>Description du site : Ancien atelier de traitement de surface. Cessation d'activité par dépôt de bilan en 1997. La nappe n'est pas impactée.</p> <p>Description qualitative à la date du 23/01/2004 : Réalisation d'un diagnostic (au frais du propriétaire) en 1999. Elimination de déchets (par le propriétaire) en 2000. Projet de vente du site avec transformation en atelier d'artiste et habitation. Notification d'un arrêté prévoyant des mesures de réhabilitation du local au liquidateur judiciaire (faisant l'objet d'un contentieux.)</p>
PARAMELT ex TISCCO	93.0020	145 avenue de Paris à Bobigny	600m au nord-est, en amont latéral	<p>Description du site : Ancienne usine de fabrication de produits chimiques (naphéténates, stéarates et cires) qui a cessé son activité fin 1993.</p> <p>Description qualitative à la date du 14/06/2013 : Réalisation d'un diagnostic initial de l'état du sous-sol en avril 1996, complété en décembre 1996. Elimination des déchets présents sur le site entre mars et mai 1996. Nettoyage et dégazage des cuves enterrées. Un diagnostic approfondi sur les 2 sources de pollution et le pompage d'une phase flottante a été demandé par arrêté préfectoral en date du 05/06/2000. Cet arrêté proposait des mesures conservatoires et la remise en état du sol. Paramelt a attaqué cet arrêté au tribunal administratif. Le 02/07/02 le tribunal administratif de Cergy Pontoise a annulé l'arrêté en cause. Un recours a été déposé par le ministère de l'Ecologie en date du 02/09/02, la cour administrative d'appel de Versailles par arrêt en date du 21/10/04 a annulé le jugement du tribunal administratif de Cergy Pontoise rendant l'arrêté préfectoral de mise en demeure du 05/06/2000 applicable au site. La société Paramelt existe toujours sous le nom de SARL PARAMELT BV. Un nouvel arrêté de mise en demeure est pris à son encontre en février 2010 dans les mêmes termes que ceux de l'arrêté du 05/06/2000, aux fins de diagnostic approfondi et remise en état du site. Cet arrêté a été respecté suite à la transmission du plan de gestion. Le dernier diagnostic n'a pas mis en évidence de phase flottante. Sur la partie réhabilitation du site, il a été demandé à la société PARAMELT de mettre en place des restrictions d'usage visant à pérenniser la compatibilité entre l'état du site et un usage du type industriel. Ces restrictions d'usage doivent a minima comprendre les dispositions suivantes: - Absence de contact direct avec les terres en place : les superficies non bâties sont recouvertes de remblais sains en surface. - Absence de puits permettant l'utilisation des eaux souterraines de la nappe superficielle. - Passage de canalisations d'eau potable hors des zones identifiées comme polluées. - une servitude de passage et d'accès aux ouvrages à l'organisme compétent chargé de la surveillance de la qualité des eaux souterraines sur le site et le maintien du bâti dans la configuration actuelle. Un arrêté préfectoral complémentaire a été pris le 6 février 2013 pour encadrer la surveillance des eaux souterraines.</p>
EURIDEP (ex La Seigneurie)	93.0042	20 rue Gallieni à Bobigny	1000m au nord, en latéral	<p>Description du site : Ancienne usine de fabrication de peintures avec ateliers, laboratoires, entrepôt de stockage et bureaux. Cessation d'activité en 1998.(fin décembre)</p> <p>Description qualitative à la date du 31/01/2002 : Réalisation d'un diagnostic initial de l'état du sous-sol en décembre 1998, complété par des diagnostics complémentaires en 2000 et 2001. Elimination des déchets présents sur le site et neutralisation de cuves enterrées en 1999 et 2000. Projet d'arrêté devant être soumis à l'avis du CDH demandant: -l'extraction de certaines cuves enterrées; -une étude sur l'impact potentiel sur les futurs usagers du site et l'environnement de la présence d'hydrocarbures et de BTEX dans la nappe.</p>
VALEO	93.0034	34, rue Saint-André à Bobigny	1200m au nord-ouest, en aval	<p>Description du site : Ancien site de fabrication d'optiques pour véhicules automobiles, ayant cessé ses activités en 1988. A la place, a été construit le siège social et le centre de recherches de VALEO VISION.</p> <p>Description qualitative à la date du 12/10/2011 : Lors de la construction d'un parc de stationnement souterrain en 1995, une zone de terres souillées par hydrocarbures, zinc, cyanures et chrome, a été mise en évidence. Les terres polluées (17 m3) ont été excavées et envoyées en décharge autorisée. Le rapport d'inspection du 15/04/96 concluait que l'opération de remise en état était terminée. Sauf élément nouveau le site n'appelle plus d'action de la part de l'administration.</p>
JEAN-LOUIS	93.0051	14 rue François Arago, 15 rue Jacquart à Pantin	1200m à l'ouest, en latéral	<p>Description du site : Ancien traitement de surface ayant fait l'objet d'un redressement puis d'une liquidation judiciaire. Le matériel d'exploitation est toujours en place mais les cuves de baigns de traitement sont vides. On observe des traces d'égoutures sur les murs et les sols. Une ancienne rétention est percée. 3 transformateurs redresseurs à huile sont toujours en place. Il y a un risque d'infiltration d'eau par la toiture. Le site est muré limitant les deux propriétés respectives.</p> <p>Description qualitative à la date du 22/01/2004 : La cave d'un voisin immédiat est polluée par une couche de 4 cm d'épaisseur d'acide sulfurique (pH 1). Un pompage est en cours dans la cave du plaignant car l'épanchement d'acide est manifestement alimenté par une source extérieure dont l'origine est à définir (expertise judiciaire en cours). Le liquidateur nous a transmis le 14 août 2003 une étude de ECOSYSTE en date de septembre 2002 qui n'avait jamais été transmise à l'administration. Les prélèvements faits sur le site des établissements Jean-Louis montrent une pollution en cyanure pouvant entraîner un danger pour la population. Un arrêté de dépollution d'urgence a été notifié le 07/01/2003 à l'exploitant. Un arrêté de consignation a été notifié. La société a été mise en liquidation le 19 février 2003. Le liquidateur a fait l'objet de deux procès verbaux des 5 juin 2003 et 30 juin 2003. Une EDR a été demandée au liquidateur le 5 décembre 2003. Il a été demandé à la DDE et à la mairie de Pantin de nous saisir sur toute demande de permis de démolir et de construire sur le site.</p>
SITREM	93.0025	64-66, rue de Paris à Noisy-le-Sec	1400m au nord-est, en latéral	<p>Description du site : Centre de traitement de déchets industriels spéciaux, déchets d'hydrocarbures. Centre en activité</p> <p>Description qualitative à la date du 01/04/2009 : Risques présentés liés à la nature des produits manipulés et stockés (boues d'hydrocarbures). Diagnostic initial réalisé en 1998 ne détecte aucune anomalie dans la nappe. Le diagnostic de 2003 a détecté des anomalies en nickel, HAP (naphtalène, fluorène, phénanthrène), CAV (toluène), COHV (TCE et 1,2 cisTCE). ESR réalisée en 2003 préconise la surveillance de la nappe. Les 4 piézomètres ont été changés en 2007. Une surveillance annuelle est pratiquée.</p>
SOS TRAITEMENT DE SURFACE	93.0055	2 rue Meissonier à Pantin	1850m au sud-ouest, en latéral	<p>Description du site : La société SOS TS a exploité sur ce site jusqu'en 2005 des installations de traitement de surface soumises à autorisation au titre de la législation relative aux installations classées. Le site se compose de plusieurs bâtiments en zone d'activité mixte dense avec une partie en sous-sol</p> <p>Description qualitative à la date du 18/07/2012 : La société SOS TS a été mise en liquidation le 8 juin 2005. Un arrêté préfectoral de mise en sécurité a été pris le 27 juin 2005. Le liquidateur a déclaré la cessation le 28 juillet 2005 et a fait effectuer un inventaire des produits dangereux restant sur le site. Un premier enlèvement des déchets dangereux (boues, fûts...) a été effectué en 2008 et les justificatifs transmis dans un dossier de janvier 2009. Subsistaient sur le site les cuves et planchers souillés ainsi qu'une incertitude sur la pollution des sols. Les cuves et le matériel ont été éliminés en 2010 et le liquidateur a transmis le 17 février 2011 un rapport de "récolement". L'absence d'investigation de la pollution des sols était justifiée par la présence d'un sous-sol et par les difficultés techniques pour y réaliser un carottage. La visite d'inspection du 5 avril 2011 a permis de constater la mise en sécurité du site et l'enlèvement des cuves mais les sols et les murs n'avaient pas été nettoyés. Par ailleurs la possibilité d'une pollution localisée sous la cuve de trichloroéthylène n'est pas écartée. Suite à la radiation de la société le 3 mai 2011, il n'a pas été possible de prescrire des éléments concernant le diagnostic sur la pollution de ce site. Un courrier préfectoral a été adressé au propriétaire du site pour l'informer de la situation, lui recommander de prendre en compte des éventuelles pollutions résiduelles, et lui rappeler ses obligations au titre du code civil et d'information en cas de vente. Sauf élément nouveau, ce site n'appelle plus d'actions de l'inspection des installations classées.</p>

Après consultation de la base de données IREP, dans le secteur du site, seul le site SANOFI est répertorié comme générant des émissions polluantes.

Rejets atmosphériques :

Composés organiques volatils non méthaniques 95 000 à 133 000 kg/an de 2008 à 2012.

Rejets aqueux indirects (en station d'épuration) :

- Trichlorométhane (TCM) : 524 kg en 2009 et 88 kg en 2010 ;
- Cuivre et ses composés : 87 à 129 kg/an de 2008 à 2012 ;
- Phénols : 1 300 à 3 000 kg/an de 2008 à 2012 ;
- Phosphore 13 000 à 22 000 kg/an de 2008 à 2012 ;
- Zinc : 140 à 300 kg/an.

4 Conditions environnementales du site

4.1 Investigations environnementales réalisées

La localisation des investigations mentionnées ci-après, leur chronologie de réalisation et le détail des matrices et substances analysées sont présentés en Annexe D.

4.1.1 Chronologie des études/investigations réalisées

Les différentes phases d'études et d'investigations effectuées sont présentées ci-dessous et détaillées dans les paragraphes suivants :

2004 : Inspection des galeries techniques et réseaux. Selon SANOFI, les défauts identifiés ont été réparés.

2005 – BURGEAP : Etude historique.

2005 – BURGEAP : Diagnostic initial comprenant la réalisation 31 sondages de sols peu profonds et 4 piézomètres à 25 m.

2010 : inspection caméra des réseaux et réparation des anomalies constatées, selon SANOFI.

Octobre/novembre 2010 – ENVIRON : Investigations complémentaires permettant la réalisation de 48 sondages de sols à 6,5 m de profondeur au maximum, 2 piézomètres complémentaires à 30 m et 3 piézairs.

Décembre 2011/février 2012 – ENVIRON : Investigations complémentaires comprenant 17 sondages à 4-6 m/TN, 6 sondages à 22-25 m¹⁰, 11 piézomètres à 27-30 m, 16 piézomètres superficiels à 10-12 m et 10 piézairs.

Juin/juillet 2012 – ENVIRON : Campagne d'investigations pour effectuer 28 sondages jusqu'à 10-13,5 m/TN, 12 piézomètres superficiels à 10-13 m (le piézomètre P21bis qui avait été endommagé durant les investigations a été reforé le 11 septembre 2012 jusqu'à 12,5 m). Les 11 piézomètres existants interceptant la nappe de l'Eocène ont été rebouchés et 12 piézomètres forés en double casing jusqu'à 27-30 m ont été installés. Le réseau de piézairs du site a été complété par 19 nouveaux ouvrages.

Juillet 2012 – VALGO : Essai pilote de venting.

Janvier - Mai 2013 : Essais laboratoires (oxydation et réduction chimique), essais pilotes (aération mécanique des terres polluées, essais-in-situ de réduction chimique et de biostimulation anaérobie) et investigations (17 sondages à 12 m, 9 puits d'injection/suivi pour les tests pilotes in-situ ; + 2 piézairs hors-site).

Décembre 2013 : Essais laboratoires (réduction chimique) et investigations complémentaires (24 sondages à 12 m + 25 sondages à 5 m + 7 piézomètres à 12 m + 1 piézomètre à 30 m + 2 piézairs).

¹⁰ Les venues d'eau observées lors de la réalisation de ces sondages ont permis de mettre en évidence l'existence de la nappe perchée (le programme d'investigations a été adapté pour prendre en compte cette nappe et la caractériser)

4.1.2 Synthèse des investigations réalisées

Une liste des différentes études environnementales menées sur le site est présentée en Annexe D.

Les sondages et ouvrages réalisés sur et hors-site à l'occasion de ces études environnementales sont listés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Synthèse des investigations réalisées au droit de l'ancien CPR et en ses alentours					
Entreprise	Date	Sondages réalisés	Piézomètres réalisés - nappe perchée	Piézomètres réalisés - nappe de l'Eocène	Piézairs réalisés
BURGEAP	2005	31		4 (Rebouchés en 2012)	
ENVIRON	2010 (octobre/novembre)	48		2 (Rebouchés en 2012)	3
ENVIRON	2011/2012 (décembre à février)	23	15	11 (dont 6 rebouchés en 2012)	10
ENVIRON	2012 (juin/juillet)	28	11	13	19
ENVIRON	2013 (mars/mai)	17	9 (essais pilotes)		2
ENVIRON	2013 (décembre)	49	7	1	2

Les Figure 8, Figure 9, Figure 11 et Figure 14 présentent respectivement l'implantation complète des sondages sols, des piézomètres installés dans la nappe perchée, des piézomètres installés dans la nappe de l'Eocène et des piézairs.

Les analyses ont été réalisées par les laboratoires Eurofins et Alcontrol qui possèdent l'accréditation COFRAC. Le programme analytique détaillé en Annexe D a été adapté aux substances mises en œuvre au droit du site ou susceptibles de se retrouver dans les remblais (métaux lourds, BTEX, COHV, HAP, PCB, cyanures, phénols, chlorobenzènes, solvants polaires, etc.).

Sols

Les différentes phases d'investigations ont permis de mailler l'ensemble de l'ancien CPR et de réaliser 196 sondages soit un sondage de sol tous les 275 m² (en moyenne).

Au niveau des zones les plus impactées, l'implantation des sondages sols a été densifiée afin de délimiter les pollutions (un sondage pour 100 m²). Au droit des autres zones, les sondages réalisés ont permis de documenter l'absence d'impact significatif (un sondage a été implanté tous les 340 m²).

Au total 548 échantillons de sols ont été prélevés et analysés dont près de la moitié dans les remblais.

Gaz du sol

Le réseau de surveillance des gaz du sol actuel comporte 31 piézaires (certains ayant été endommagés lors des travaux de démolition) installés au droit et en périphérie de l'ancien CPR. Ces ouvrages ont été installés à 1,5 m de profondeur à l'exception des ouvrages PG1, PG2 et PG3 installés vers 3 m de profondeur.

- Sur l'ancien CPR : PG1 à PG4, PG6 à PG8, PG10 à PG22, PG24, PG25, PG27 à PG30, PG32, PG35 et PG36 ;
- Hors-site : PG33 et PG34.

Eaux souterraines

Le réseau de surveillance des eaux souterraines actuel comporte 64 piézomètres installés au droit et en périphérie de l'ancien CPR. Les piézomètres ont été installés dans la nappe perchée et dans la nappe éocène entre 2005 et décembre 2013. Les ouvrages de la nappe éocène initialement forés sans protection de la nappe superficielle ont été rebouchés et réinstallés à proximité en double casing.

Le réseau de surveillance des eaux souterraines est composé de :

- **Nappe perchée** : 45 piézomètres installés entre 10 et 14 m de profondeur :
 - 36 piézomètres sur site: P1bis à P3bis, P7bis à P10bis, P12bis, P14bis, P15bis, P17bis, P20bis, P22bis à P29bis, P23bis sec, P34bis à P39bis et Pi1 à Pi9 ;
 - 9 piézomètres hors-site : MW1 à MW3, P21bisR, P30bis à P33bis et P40 bis.
- **Nappe éocène** : 19 piézomètres installés entre 25 à 30 m de profondeur, équipés en double casing afin de ne pas mettre en communication la nappe perchée et la nappe éocène :
 - 16 piézomètres sur site : P1R à P3R, P5R, P6R, P7, P10, P12, P15, P16R à P18R, P19, P20, P23 et P24 ;
 - 3 piézomètres hors-site : P21R et P22R et P25.

SANOFI s'est vu refuser l'accès aux propriétés privées pour implanter des ouvrages à l'ouest des ouvrages implantés les plus en aval et captant la nappe perchée (P21 bis, P22/P30 bis et P40 bis) et la nappe éocène (P21, P22 et P25). De ce fait, il n'a pas été possible de délimiter très précisément l'extension des panaches de pollution hors-site¹¹.

¹¹ Comme précisé plus loin dans ce document, il convient toutefois de noter que dans la plupart des cas des abattements significatifs des concentrations sont observés entre la bordure aval du site et les ouvrages positionnés hors site.

Une carte présentant les propriétaires contactés à cette occasion est proposée en Annexe E.

4.1.3 Campagnes de suivi des milieux

Plusieurs campagnes de suivi de la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol ont été réalisées (cf. Tableau 2).

Tableau 2 : Liste des campagnes de suivi de la qualité des eaux souterraines et des gaz du sol

	2005		2009			2010		2011	2012				2013	
	Janvier	Avril	Septembre	Juillet	Novembre	Mars	Janvier	Juillet	Août	Septembre	Février	Décembre		
Nappe perchée							X	X	X	X	X	X		
Nappe de l'Eocène	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Nappe du Lutétien / de l'Yprésien		X		X		X				X				
Gaz du sol					X		X	X	X			X		

4.2 Principaux impacts identifiés

4.2.1 Synthèse des impacts identifiés

Les investigations et suivis réalisés sur site depuis 2005 ont permis d'avoir un bon niveau de connaissance de la qualité des sols, eaux souterraines et gaz du sol au droit de la zone d'étude.

Les données disponibles révèlent l'existence des principaux impacts suivants au sein des zones identifiées ci-dessous (voir Figures 15) :

- Zone P1 dite "Léonard de Vinci" (sud-est du site, centrée sur les piézomètres P1 et P1bis) où des impacts en solvants chlorés (principalement du 1,2-DCA), des alcools (principalement l'alcool isopropylique) et de l'acétone ont été identifiés à partir de 7 m de profondeur jusque la zone aquifère de la nappe perchée (soit entre 9 et 12 m de profondeur). La nappe éocène est également impactée, principalement par les COHV (TCE et 1,2-DCA). Les investigations à la date n'ont cependant pas permis d'identifier d'impacts dans les sols au-dessus de 7 m de profondeur ;
- Zone P2 dite "Genevoix" (Nord du site, centrée sur les piézomètres P2 et P2bis) où des sols impactés par des solvants aromatiques (benzène et toluène) et des solvants chlorés (principalement du PCE, TCE, cis-1,2-DCE, 1,2-DCA et TCM) ont été identifiés depuis la surface jusqu'à 12 m de profondeur. La nappe éocène est également impactée mais dans une moindre mesure par les mêmes composés que ceux détectés dans la nappe perchée ;
- Zone P3 dite "Chenil" (ouest du site, centrée sur les piézomètres P3 et P3bis) où des sols impactés par des solvants chlorés (principalement du PCE et TCE) ont été identifiés depuis la surface jusqu'à 12 m de profondeur. La nappe éocène est impactée,

dans une moindre mesure, par l'arsenic et les COHV (principalement le TCE et le 1,2-DCA) ;

- Zone nord-ouest où des sols de surface (essentiellement des remblais) impactés par des métaux et plus localement par des solvants chlorés (principalement du TCE) ont été identifiés jusqu'à 5 m de profondeur. La nappe perchée est principalement impactée par du chrome (très localement) et les COHV (principalement le TCE et le cis-1,2-DCE). La nappe éocène est impactée, dans une moindre mesure, par l'arsenic et les COHV (principalement le TCE et le 1,2-DCA). Il est à noter que l'impact en arsenic et COHV observé dans les eaux souterraines au droit de la zone nord-ouest est probablement lié à la migration des impacts constatés en amont hydraulique au droit des autres zones.

Le Tableau 3 ci-dessous synthétise les principales substances identifiées dans les sols, gaz du sol et les nappes (perchée et éocène) de chaque zone, ainsi que les gammes de concentrations et les profondeurs concernées.

Le détail des impacts identifiés et l'estimation des surfaces et volumes impactés sont présentés dans les paragraphes ci-après.

Tableau 3 : Synthèse des impacts identifiés dans les milieux souterrains

Zone	Sols			Gaz du sol		Nappe perchée		Nappe de l'Eocène	
	Principales substances identifiées	Gammes de concentrations (en mg/kg)	Profondeurs concernées (en mètres)	Principales substances identifiées	Concentrations maximales mesurées	Principales substances identifiées	Concentrations moyennes mesurées dans l'ouvrage le plus impacté (en µg/l)	Principales substances identifiées	Concentrations moyennes mesurées dans l'ouvrage le plus impacté (après réinstallation) (en µg/l)
Zone Remblais nord-ouest	Arsenic Cadmium Chrome Cuivre Nickel Plomb Zinc	0-70 mg/kg 0-13 mg/kg 0-450 mg/kg 0-91 000 mg/kg 0-960 mg/kg 0-5 300 mg/kg 0-27000 mg/kg	0-2 à 5m 0-2 à 5m 0-2 à 5m 0-2 à 5m 0-2 à 5m 0-2 à 5m 0-2 à 5m			Chrome	P29 bis – 1 700 µg/l	Arsenic	P24 - 85 µg/l
	Trichloroéthène	0-9 mg/kg	0-2 à 4m	Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène	5,5 mg/m ³ 1 100 mg/m³ 17,5 mg/m ³	Trichloroéthène Cis-dichloroéthène Chlorure de vinyle 1,2 Dichloroéthane	P14 bis – 950 µg/l P14 bis – 450 µg/l P14 bis – 7 µg/l P14 bis – 3 µg/l	Benzène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène 1,2 Dichloroéthane	P4 - 16 µg/l P24 - 180 µg/l P4 - 25 µg/l P24 - 190 µg/l
Zone P1	1,2 Dichloroéthane 1,2 Dichloropropane Acétone Alcool isopropylique HAP	0-38 mg/kg 0-5 mg/kg 0-170 mg/kg 0-110 mg/kg 0-140 mg/kg	8-12 m 7-10m 7-12m 7-10m Surface	1,2 Dichloroéthane 1,2 Dichloropropane Chloroforme	1,49 mg/m ³ 0,18 mg/m ³ 32,5 mg/m³	Arsenic Nickel Benzène Trichloroéthène 1,2 Dichloroéthane 1,2 Dichloropropane Chlorure de vinyle Chloroforme Acétone Alcool isopropylique	P10 bis - 750 µg/l P8bis - 170 µg/l P8bis/P10 bis – 2 µg/l P1bis – 18 µg/l P8bis – 5 550 µg/l P8bis – 930 µg/l P8bis – 250 µg/l P1bis – 91 µg/l P1bis – 60 000 µg/l P8bis – 15 000 µg/l	Arsenic Trichloroéthène 1,2 Dichloroéthane 1,2 Dichloropropane Chlorure de vinyle Chloroforme	P23 - 13 µg/l P23 – 800 µg/l P1 – 2 575 µg/l P1 – 222 µg/l P1 – 26 µg/l P1 – 325 µg/l
Zone P2	Arsenic Cadmium Cuivre Mercure Nickel Plomb Zinc Benzène Toluène Ethylbenzène Xylènes Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène Chlorure de vinyle 1,2 Dichloroéthane Chloroforme	0-100 mg/kg 0-14 mg/kg 0-6400 mg/kg 0-17 mg/kg 0-150 mg/kg 0-1400 mg/kg 0-6900 mg/kg 0-740 mg/kg 0-760 mg/kg 0-75 mg/kg 0-150 mg/kg 0-830 mg/kg 0-170 mg/kg 0-110 mg/kg 0-3 mg/kg 0-34 mg/kg 0-74 mg/kg	0-3m 0-3m 0-3m 0-3m 0-2m 0-3m 0-5m 0-12m 0-12m 0-12m 0-12m 0-12m 0-12m 0-12m 0-12m 0-12m			Nickel	P2 bis - 45 µg/l	Arsenic	P18 - 33 µg/l
				Benzène Toluène Ethylbenzène Xylènes Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène 1,2 Dichloroéthane Chloroforme	0,17 mg/m ³ 0,3 mg/m ³ 0,05 mg/m ³ 0,11 mg/m ³ 105 mg/m³ 465 mg/m³ 23,5 mg/m³ 6,5 mg/m ³ 55 mg/m³	Benzène Toluène Ethylbenzène Xylènes Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène Chlorure de vinyle 1,2 Dichloroéthane Chloroforme Acétone	P2 bis – 23 500 µg/l P2 bis – 67 500 µg/l P2 bis – 4 300 µg/l P2 bis – 5 700 µg/l P2 bis – 1 500 µg/l P2 bis – 2 000 µg/l P2 bis – 59 000 µg/l P2 bis – 2 100 µg/l P2 bis – 8 100 µg/l P2 bis – 4 300 µg/l P2 bis – 27 500 µg/l	Benzène Toluène Ethylbenzène Xylènes Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène Chlorure de vinyle 1,2 Dichloroéthane	P18 - 145 µg/l P2 - 100 µg/l P2 - 10 µg/l P2 – 17 µg/l P2 - 75 µg/l P2 - 215 µg/l P2 - 90 µg/l P2 - 7 µg/l P2 - 38 µg/l

Zone	Sols			Gaz du sol		Nappe perchée		Nappe de l'Eocène	
	Principales substances identifiées	Gammes de concentrations (en mg/kg)	Profondeurs concernées (en mètres)	Principales substances identifiées	Concentrations maximales mesurées	Principales substances identifiées	Concentrations moyennes mesurées dans l'ouvrage le plus impacté (en µg/l)	Principales substances identifiées	Concentrations moyennes mesurées dans l'ouvrage le plus impacté (après réinstallation) (en µg/l)
				Hydrocarbures totaux	0,65 mg/m ³	Alcool isopropylique Méthyléthylcétone Hydrocarbures totaux HAP	P2 bis – 3 700 µg/l P2 bis – 1 700 µg/l P2 bis – 1 100 µg/l P2 bis – 100 µg/l		
Zone P3	Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène	0-7 mg/kg 0-230 mg/kg 0-7 mg/kg	0-12m 0-12m 0-12m	Benzène Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène Chlorure de vinyle 1,2 Dichloroéthane Chloroforme Hydrocarbures totaux	0,06 mg/m ³ 4,95 mg/m ³ 280 mg/m³ 10,5mg/m ³ 0,04 mg/m ³ 9 mg/m ³ 1 mg/m ³	Arsenic Benzène Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène Chlorure de vinyle 1,2 Dichloroéthane Hydrocarbures totaux	P3 bis - 35 µg/l P34 bis – 1 500 µg/l P3 bis - 100 µg/l P3 bis – 11 800 µg/l P3 bis – 3 900 µg/l P3 bis – 1 100 µg/l P3 bis – 100 µg/l P3 bis – 2 450 µg/l	Arsenic Benzène Tétrachloroéthène Trichloroéthène Cis-dichloroéthène Chlorure de vinyle 1,2 Dichloroéthane	P3 - 118 µg/l P3 - 2 µg/l P12 - 15 µg/l P3 – 1 300 µg/l P3 – 75 µg/l P3 – 4 µg/l P3 – 2 300 µg/l

Le détail des impacts identifiés est présenté sur les figures suivantes :

- Impacts identifiés dans les sols : Figure 16 à Figure 28 ;
- Impacts identifiés dans les gaz de sol : Figure 29 ;
- Impacts identifiés dans la nappe perchée : Figure 30 à Figure 34 ;
- Impacts identifiés dans la nappe Eocène : Figure 35 à Figure 37.

4.2.2 Cas particulier des impacts des remblais (Métaux)

Localisation des remblais

Les investigations réalisées ont mis en évidence la présence, sur l'ensemble de l'ancien CPR, d'une couche de remblais pouvant atteindre 6 m d'épaisseur sur certaines zones. Cette couche est cependant absente au niveau des zones présentant des bâtiments avec plusieurs niveaux de sous-sol, ces matériaux ayant été décaissés lors de leur implantation.

Origine des remblais

Les remblais identifiés au droit du site sont reconnus à grande échelle dans l'est parisien (ils ne sont pas liés à l'activité du CPR) comme le montre la description faite en 1976 sur les abords du tracé du Canal de l'Ourcq¹² : « *Il s'agit le plus souvent de remblais de surélévation composés de matériaux de démolition et de déblais de carrières. On y rencontre souvent des débris de mâchefers et de terre végétale, sous forme de marnes charbonneuses et sableuses parsemées de débris caillouteux de formes et d'origines diverses* ».

Les remblais identifiés au droit du site sont à mettre en relation avec les remblais utilisés pour remblayer la zone sur un plus large périmètre que celui du CPR. Les anomalies en métaux relevées majoritairement en zone Nord-ouest sont à rattacher au fait que le reste de la superficie du site a été fortement remanié lors de sa construction (excavation importante au niveau des bâtiments Cuvier, Raulin, Carrel et Nocard).

Qualité des remblais

Ces matériaux présentent globalement des anomalies de concentration en métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, plomb et zinc) et ponctuellement en HAP et HCT. Ces substances sont également retrouvées dans les terrains naturels sous-jacents, mais en plus faible concentration (cf. Tableau 4).

¹² Etude hydrogéologique des abords du canal de l'Ourcq entre l'écluse de Sevran et le bassin de la Villette à Paris – BRGM – Juin 1976

Tableau 4 : Concentrations analysées (mg/kg) dans les remblais et sols sous-jacents (hors solvants)

	Nord-Ouest		Remblais				Sols sous remblais (<8m)				Sols Profonds (8-12m)			
			Tx de dépassement		Tx de dépassement		Tx de dépassement		Tx de dépassement					
	seuil : FGN	seuil : FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE
ARSENIC	25	37	16	71	14%	11%	12	33	6%	0%	6,2	19	0%	0%
CADMIUM	0,45	10	1,7	13	49%	6%	0,2	1	23%	0%	0	1	5%	0%
CHROME	90	130	45	450	9%	9%	21	39	0%	0%	3,6	18	0%	0%
CUIVRE	20	1 800	3 129	91 000	80%	14%	209	3 100	55%	3%	5,7	33	5%	0%
MERCURE	0,1	7	1,0	4	80%	0%	0,6	4	55%	0%	0	0	0%	0%
NICKEL	60	140	71	960	17%	11%	20	48	0%	0%	7,9	19	0%	0%
PLOMB	50	400	592	5 300	81%	31%	119	1 000	42%	10%	1,7	18	0%	0%
ZINC	100	1 600	1 493	27 000	74%	17%	157	930	39%	0%	7,5	48	0%	0%
	P1		Remblais				Sols sous remblais (<8m)				Sols Profonds (8-12m)			
			Tx de dépassement		Tx de dépassement		Tx de dépassement		Tx de dépassement					
	seuil : FGN	seuil : FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE
ARSENIC	25	37	3,5	7	0%	0%	7,0	19	0%	0%	10	19	0%	0%
CADMIUM	0,45	10	0	0	0%	0%	0	0	0%	0%	0	0	0%	0%
CHROME	90	130	17	21	0%	0%	17	29	0%	0%	11	23	0%	0%
CUIVRE	20	1 800	27	57	50%	0%	15	57	17%	0%	5,0	11	0%	0%
MERCURE	0,1	7	0,2	1	50%	0%	0,1	1	17%	0%	0	0	0%	0%
NICKEL	60	140	21	24	0%	0%	18	24	0%	0%	11	19	0%	0%
PLOMB	50	400	35	92	25%	0%	13	92	8%	0%	0	0	0%	0%
ZINC	100	1 600	61	110	25%	0%	38	110	8%	0%	18	44	0%	0%
	P2		Remblais				Sols sous remblais (<8m)				Sols Profonds (8-12m)			
			Tx de dépassement		Tx de dépassement		Tx de dépassement		Tx de dépassement					
	seuil : FGN	seuil : FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE
ARSENIC	25	37	15	54	13%	6%	13	29	10%	0%	4,4	14	0%	0%
CADMIUM	0,45	10	1,9	14	50%	6%	0	1	20%	0%	0	0	0%	0%
CHROME	90	130	42	150	19%	6%	14	24	0%	0%	2,4	23	0%	0%
CUIVRE	20	1 800	328	1 400	88%	0%	40	110	40%	0%	7,2	52	8%	0%
MERCURE	0,1	7	1,4	5	88%	0%	0	1	50%	0%	0	0	8%	0%
NICKEL	60	140	39	150	19%	6%	17	25	0%	0%	7,5	18	0%	0%
PLOMB	50	400	329	1 100	81%	25%	63	230	30%	0%	3,3	37	0%	0%
ZINC	100	1 600	414	3 000	69%	6%	87	300	30%	0%	8,8	61	0%	0%
	P3		Remblais				Sols sous remblais (<8m)				Sols Profonds (8-12m)			
			Tx de dépassement		Tx de dépassement		Tx de dépassement		Tx de dépassement					
	seuil : FGN	seuil : FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE	Moyenne	MAX	FGN	FNADE
ARSENIC	25	37	5,5	11	0%	0%	5,9	14	0%	0%	5,1	14	0%	0%
CADMIUM	0,45	10	0	0	0%	0%	0	0	0%	0%	0	0	0%	0%
CHROME	90	130	16	25	0%	0%	17	24	0%	0%	4,0	16	0%	0%
CUIVRE	20	1 800	57	93	67%	0%	20	79	17%	0%	3,9	9	0%	0%
MERCURE	0,1	7	0,4	1	67%	0%	0,2	1	33%	0%	0	0	0%	0%
NICKEL	60	140	15	23	0%	0%	16	21	0%	0%	6,4	12	0%	0%
PLOMB	50	400	61	130	67%	0%	12	53	17%	0%	0	0	0%	0%
ZINC	100	1 600	103	160	67%	0%	53	160	17%	0%	6,5	26	0%	0%

Les résultats des analyses sur éluats (cf. Tableau 5) montrent que pour la moitié des échantillons prélevés dans les remblais, les concentrations mesurées sont supérieures aux critères ISDI¹³ pour les paramètres fraction soluble, sulfates et antimoine (cf. Tableau 5). Ainsi, si ces matériaux devaient être évacués du site, ils ne seraient pas acceptables en ISDI. Par ailleurs, plus de 95% des concentrations analysées sont inférieures aux seuils d'acceptation en ISDND.

Tableau 5 : Concentrations sur éluats analysées dans les remblais (mg/kg)

Substance	Seuil (AM 28 10 2010)	Remblais		
		Concentration moyenne	Concentration maximale	Taux de dépassement de seuil
ANTIMOINE	0,06	0,04	0,3	33%
ARSENIC	0,5	0,04	0,38	0%
BARYUM	20	0,4	1,5	0%
CADMIUM	0,04	0	0	0%
CHROME	0,5	0,03	0,26	0%
CUIVRE	2	0,08	0,25	0%
MERCURE	0,01	0,001	0,005	0%
MOLYBDENE	0,5	0,04	0,19	0%
NICKEL	0,4	0	0	0%
PLOMB	0,5	0	0	0%
SELENIUM	0,1	0	0	0%
ZINC	4	0,1	1,2	0%
COT	500	15	77	0%
SULFATES	1 000	2 826	15 000	33%
CHLORURES	800	59	280	0%
FLUORURES	10	5	9,2	0%
FS	4 000	6 090	23 600	50%
PHENOL	1	0,01	0,09	0%

0,3 : Dépassement du seuil

Les résultats des analyses métaux, HAP et hydrocarbures effectuées sur les remblais et sols sous-jacents mettent en évidence l'absence de lixiviation des métaux (respect des seuils ISDI) et un faible transfert de ces substances des remblais vers les sols plus profonds.

Les caractéristiques des impacts métaux sont synthétisées dans le Tableau 6 ci-après.

Tableau 6 : Synthèse des impacts métaux

	Zone nord-ouest	Zone P1	Zone P2	Zone P3	Total
Surface	0-2m : 5 000m ² 2-5m : 1 000m ²	-	0-2m : 2 000m ² 2-5m : 3 500m ²	-	0-2m : 7 000m ² 2-5m : 4 500m ²
Volume	0-2m : 10 000m ³ 2-5m : 3 000m ³	-	0-2m : 4 000m ³ 2-5m : 10 500m ³	-	0-2m : 14 000m ³ 2-5m : 13 500m ³
VOLUME TOTAL :					27 500 m ³

Conclusion

¹³ Seuils d'acceptation définis dans l'arrêté du 28/10/2010

Compte tenu de l'origine des remblais, ces anomalies pour les paramètres précités ne sont pas considérées comme liées aux activités industrielles de SANOFI CHIMIE et peuvent être assimilées à un « bruit de fond anthropique » qui présente ponctuellement des concentrations élevées en substances.

Le traitement de ces anomalies de concentration a cependant été considéré dans le bilan coûts-avantages. Les mesures nécessaires pour supprimer les voies de transferts potentielles (remontées de vapeurs, envols de poussières, contact direct avec les sols, lixiviation et transfert vers les eaux souterraines) ont également été prises en compte.

4.2.3 Zone nord-ouest

Les remblais de la zone nord-ouest présentent, en plus du « bruit de fond anthropique » décrit ci-dessus, des anomalies plus locales de concentration en solvants chlorés. Ces anomalies sont présentes principalement dans les sols de surface (remblais entre 0 et 2 m) et peuvent atteindre 5 m de profondeur. Ces impacts sont synthétisés sur la Figure 15b.

Les caractéristiques de cette zone sont les suivantes :

- Surface estimée de sols impactés : 1 000 m² ;
- Volume estimé de sols impactés : 5 000 m³ ;
- Quantité de COHV estimée : 15 à 40 kg.

Les impacts en solvants chlorés identifiés dans les sols de surface (0-5 m) au droit de cette zone sont probablement liés aux activités historiques datant d'avant l'acquisition du site par Roussel UCLAF : traitement de surface, dégraissage, stockage de solvants et stockage de fûts en attente de destruction (cf. Annexe C).

4.2.4 Zone P1 « Léonard de Vinci »

Des impacts en alcools, en acétone, et ponctuellement en solvants chlorés ont été identifiés dans les sols localisés majoritairement entre 7 et 12 m de profondeur en partie sur la zone Sud de l'ancien CPR et en partie au droit du site FAREVA (cf. Figures 26, 27 et 28). Les différentes campagnes d'investigations n'ont cependant pas permis de détecter d'impacts dans les sols plus superficiels.

Ces concentrations dans les sols génèrent un impact dans les eaux souterraines. Les principaux impacts ont été mesurés dans la nappe perchée et se traduisent par la présence dans les eaux souterraines d'arsenic et de solvants polaires (acétone et alcool isopropylique), et dans une moindre mesure de COHV (principalement le 1,2-DCA, le 1,2-Dichloropropane, le chlorure de vinyle et le chloroforme). La présence de méthane, d'éthène et d'éthane indique des conditions biogéochimiques favorables à la dégradation biologique des COHV. À noter également que le pH est élevé (supérieur à 10 localement) et que les eaux de la nappe présentent de fortes concentrations en ammonium, nitrate et carbone organique dissous.

La nappe éocène est principalement impactée par les COHV (TCE et 1,2-DCA). Une incertitude subsiste quant à des impacts ponctuels en acétone. La ré-installation en 2012 du piézomètre P1, initialement crépiné sur les deux zones saturées a eu un impact positif sur les concentrations mesurées, qui décroissent rapidement.

Il apparaît que les impacts dans les eaux souterraines de la nappe perchée et de l'Eocène en liaison avec la contamination identifiée en zone P1, s'atténuent très rapidement. En effet, les panaches de solvants polaires et de COHV dans la nappe perchée, et de COHV dans la

nappe éocène situés à la limite entre la zone Sud de l'ancien CPR et le site de FAREVA ne migrent pas à une distance supérieure à 50m des piézomètres présentant les concentrations les plus élevées (voir Figure 30 à Figure 37).

Les données historiques indiquent que l'ancien bâtiment Extraction (bâtiment Léonard de Vinci) était dédié au stockage de différents produits liquides dont l'acétone et le DCA ; que le nord du bâtiment Lafayette était occupé par le parc acétone ; et que le bâtiment Le Verrier était occupé par l'ancien parc à fût de l'usine Usiphar sur lequel étaient stockés du chloroforme et des alcools (cf. Annexe C). Ainsi, l'origine des impacts sols est peut-être liée aux stockages historiques de ces produits sur la zone.

Les investigations réalisées ne permettant pas de délimiter précisément l'éventuelle source de pollution dans les sols moins profonds, des investigations complémentaires sont prévues sur la zone Sud de l'ancien CPR en 2014.

A ce stade, les caractéristiques de cette zone sont les suivantes :

- Surface estimée de sols impactés : 150 m² en surface ; 600 m² au niveau de la nappe perchée ;
- Volume estimé de sols impactés (COHV + alcool isopropylique + acétone) : 4 900 m³ ;
- Quantité de COHV estimée : 20 à 40 kg ;
- Quantité d'alcool isopropylique estimée : 65 à 105 kg ;
- Quantité d'acétone estimée : 50 à 410 kg.

4.2.5 Zone P2 « Genevoix »

Au droit de la zone P2 « Genevoix », des impacts en solvants (principalement benzène, toluène, TCE et PCE) ont été mis en évidence. Cette zone était historiquement utilisée pour le stockage de fûts (butanol, dichloroéthane et chloroforme). De plus, un chiffonnier était installé jusqu'en 1964 au niveau du parc de destruction et sur la parcelle à l'est du bâtiment Genevoix (cf. Annexe C). Ces activités sont susceptibles d'être responsable des impacts observés dans les sols de cette zone.

Les impacts identifiés au droit de cette zone ont migré verticalement jusqu'à 11/12 m de profondeur. Les BTEX et solvants chlorés sont peu fixés dans les marnes infragypseuses (entre 5 et 9 m), par contre les plus fortes concentrations sont observées au niveau de l'aquifère de la nappe perchée.

Cette source sol génère un impact dans les eaux souterraines. Les principaux impacts ont été mesurés dans la nappe perchée et se traduisent par la présence dans les eaux souterraines d'arsenic, de BTEX, de COHV (principalement le cis-1,2-DCE, le chlorure de vinyle, le 1,2-DCA et le chloroforme) et de solvants polaires (méthanol, acétone et MEK). La présence de méthane, d'éthène et d'éthane indique des conditions biogéochimiques favorables à la dégradation biologique des COHV. Ces impacts sont synthétisés sur la Figure 15c.

La nappe éocène est impactée dans une moindre mesure par les mêmes composés que ceux détectés dans la nappe perchée. La ré-installation du piézomètre P2, initialement crépiné sur les deux zones saturées, semble avoir eu un impact positif sur les concentrations mesurées au fur et à mesure du suivi, sauf pour le TCE. Cependant, les

concentrations en COHV sont en P2 du même ordre de grandeur que le bruit de fond entrant sur le site.

Il apparaît que les impacts dans les eaux souterraines de la nappe perchée et de l'éocène en liaison avec la contamination identifiée en zone source P2, s'atténuent très rapidement. Les piézomètres situés hors-site en aval de cette zone (à environ 50 m et 150 m de la limite du site respectivement dans la nappe perchée et la nappe éocène) ne présentent pas ou peu d'impacts en COHV et aucun impact en BTEX (voir Figure 30 à Figure 37).

Les caractéristiques de cette zone sont les suivantes :

- Surface estimée de sols impactés : 2 500 m² en surface ; 900 m² au niveau de la nappe perchée ;
- Volume estimé de sols impactés (BTEX + COHV) : 17 500 m³ ;
- Quantité de COHV estimée : 2 300 kg ;
- Quantité de BTEX estimée : 4 500 kg.

4.2.6 Zone P3 « Chenil »

Des impacts en solvants chlorés ont été mis en évidence dans les sols (majoritairement entre 0 et 6 m et plus localement jusque 11/12m) au droit de la zone P3 « Chenil ». Dans les sols sous-jacents, les concentrations en solvants chlorés sont plus faibles.

Cette source sol génère un impact dans les eaux souterraines. Les principaux impacts ont été mesurés dans la nappe perchée et se traduisent par la présence dans les eaux souterraines principalement de COHV (principalement le TCE, cis-1,2-DCE et CV) et de BTEX (principalement le benzène) et dans une moindre mesure d'arsenic, d'HCT et de solvants polaires (diéthyléther et 1-butanol). Bien que le méthane et l'éthane aient été mesurés à de faibles concentrations, la présence d'éthane à de fortes concentrations indique des conditions biogéochimiques favorables à la dégradation biologique des COHV. Ces impacts sont synthétisés sur la Figure 15d.

La nappe éocène est impactée par les COHV (notamment TCE et 1,2-DCA) et dans une moindre mesure par l'arsenic. La ré-installation du piézomètre P3, initialement crépiné sur les deux zones saturées, semble avoir eu un impact positif sur les concentrations mesurées qui sont divisées par un facteur 4 depuis 2012.

Le panache lié à la zone source P3 apparaît bien délimité dans la nappe perchée : Le panache de BTEX s'atténue rapidement (inférieur à 50m) ; le panache de COHV quant à lui s'étend en direction du nord à une distance de l'ordre 100-150m du cœur du panache. En revanche, les impacts dans la nappe de l'éocène n'ont pas pu être délimités, en raison du refus opposé par les riverains situés à l'aval en réponse aux demandes de SANOFI pour implanter des piézomètres (cf. Annexe E). Il convient cependant de noter qu'en lien avec le rebouchage du piézomètre P3, les concentrations maximales en COHV dans la nappe éocène ont été divisées par 4 au cœur du panache entre janvier 2012 et décembre 2013 (voir Figure 30 à Figure 37).

Les piézaires installés hors-site en aval hydraulique de la zone P3 montrent l'absence de COHV et présentent des traces d'HCT et de xylènes (détectées uniquement lors de la campagne d'août 2012). Aucun composé n'a été détecté lors de la dernière campagne de décembre 2013.

Cette zone a été utilisée pour du stockage de produits divers dans les années 1950. Il est possible que des solvants chlorés aient été stockés sur cette zone à cette époque. Une autre origine possible est l'activité de traitement de surface reportée dans les bâtiments du Bronze Industriel (au nord de la zone), à partir de la fin des années 1950, voire du début des années 1960 (cf. Annexe C).

Les caractéristiques de cette zone sont les suivantes :

- Surface estimée de sols impactés : 1 500 m² en surface ; 200 m² au niveau de l'aquifère ;
- Volume estimé de sols impactés (COHV) : 9 600 m³ ;
- Quantité de COHV estimée : 230 à 360 kg.

4.3 Nappe de l'Yprésien

Un total de 10 puits de pompage a été implanté sur site pour l'alimentation en eaux industrielles (cf. Figure 13 et Tableau ci-après) :

Tableau 7 : Liste des puits de pompage

Ouvrage	Profondeur en m / au sol	Date de mise en place
F41	79,19	1948
F42	70	?
F42 bis	80	2002
F43	106	1949
F44	76,6	1951
F45	?	?
F46	79	1967
F47	80	1969
F48	77,5	1970
F48 bis	81	2002

L'aquifère exploité (nappe du Lutétien/Yprésien) se situe à 50-55 m sous le niveau du sol. Les puits situés au droit de la zone d'étude, à savoir les puits F44 et F46, ont été exploités à partir de 2009. Ils ont été comblés en 2013.

Ces puits avaient l'objet d'analyses régulières. Tous les paramètres analysés sont inférieurs aux seuils de quantification, excepté :

dépassements ponctuels des seuils de quantification pour les métaux avec des concentrations de l'ordre de 1 000 fois inférieures aux valeurs de référence ;

en 2009 : traces de PCE (1,2 µg/l). À titre d'information, le seuil eau potable défini par l'Arrêté ministériel de janvier 2007 est de 10 µg/l pour la somme PCE+TCE ;

en 2012 : traces de toluène (concentration de l'ordre de 5 µg/l) et de chloroforme (1,9 µg/l). À titre d'information, les seuils eau potable de l'OMS sont respectivement de 700 µg/l et 300 µg/l.

Au droit du site, la nappe de l'Yprésien est relativement bien isolée des impacts sols/nappe identifiés plus en surface. Le programme de surveillance de la qualité des eaux effectué par SANOFI CHIMIE n'a pas mis en évidence d'anomalie de concentration significative.

5 Synthèse des essais pilotes réalisés

Plusieurs essais pilotes in-situ et laboratoire ont été testés afin de déterminer pour chacune des zones impactées les meilleures techniques de traitement à mettre en place. Les rapports relatifs à ces essais pilotes sont disponibles en Annexe F.

Le Tableau 7 suivant synthétise les essais pilotes réalisés.

Tableau 8 : Synthèse des essais pilotes réalisés

Milieu	Essai pilote réalisé		Date de réalisation	Zone NW	Zone P1	Zone P2	Zone P3	Objectifs
Sols en zone non saturée	Essai de venting	In-situ	juillet 2012	X			X	Statuer sur la faisabilité d'un traitement des sols par venting, dans les remblais et les marnes sous-jacentes
	Aération mécanique	In-situ	février 2013			X	X	Déterminer le taux d'abattement en composés volatils par malaxage mécanique et les seuils atteignables
	Essai de chaulage des remblais	Laboratoire	décembre 2013			X	X	Déterminer si l'ajout de chaux lixiviée les métaux présents dans les remblais
Nappe perchée et sols en zone saturée	Oxydation chimique	Laboratoire - Persulfate de sodium activé à la soude	février 2013		X			Statuer sur la faisabilité d'un traitement de la nappe par oxydation chimique in-situ et définir les modalités de mise en oeuvre de ce traitement
		In-situ - Persulfate de sodium activé à la soude	février - juin 2013		X			
	Oxydation chimique	Laboratoire - Persulfate de sodium activé par du peroxyde de calcium - Persulfate activé par de l'oxyde d'aluminium	février 2013 et décembre 2013			X		Apprécier l'efficacité d'un traitement en fond de fouille à l'aide de réactifs chimiques et définir les modalités de mise en oeuvre de ce traitement
		In-situ - Persulfate de sodium activé par du peroxyde de calcium	février 2013			X		
	Oxydation chimique	Laboratoire - Permanganate de potassium	février 2013				X	Apprécier l'efficacité d'un traitement en fond de fouille par oxydation et définir les modalités de mise en oeuvre de ce traitement
	Bio stimulation	In-situ - Lactate de sodium et huile végétale émulsifiée - EHC : Association d'une source de carbone et de fer zéro valent	février - juin 2013				X	Apprécier l'efficacité d'un traitement de la nappe par bio stimulation anaérobie et définir les modalités de mise en oeuvre de ce traitement

5.1 Traitement des sols

5.1.1 Venting

Présentation de la technique

Cette technique de traitement consiste à extraire les substances volatiles par mise en dépression de la zone non saturée. Elle nécessite principalement l'installation de points d'extraction (piézairs) au droit de la zone polluée, d'une unité d'extraction et d'un dispositif de traitement des gaz extraits. Les effluents gazeux extraits sont généralement traités, selon leurs concentrations en substances volatiles polluantes, par adsorption sur charbons actifs ou oxydation catalytique.

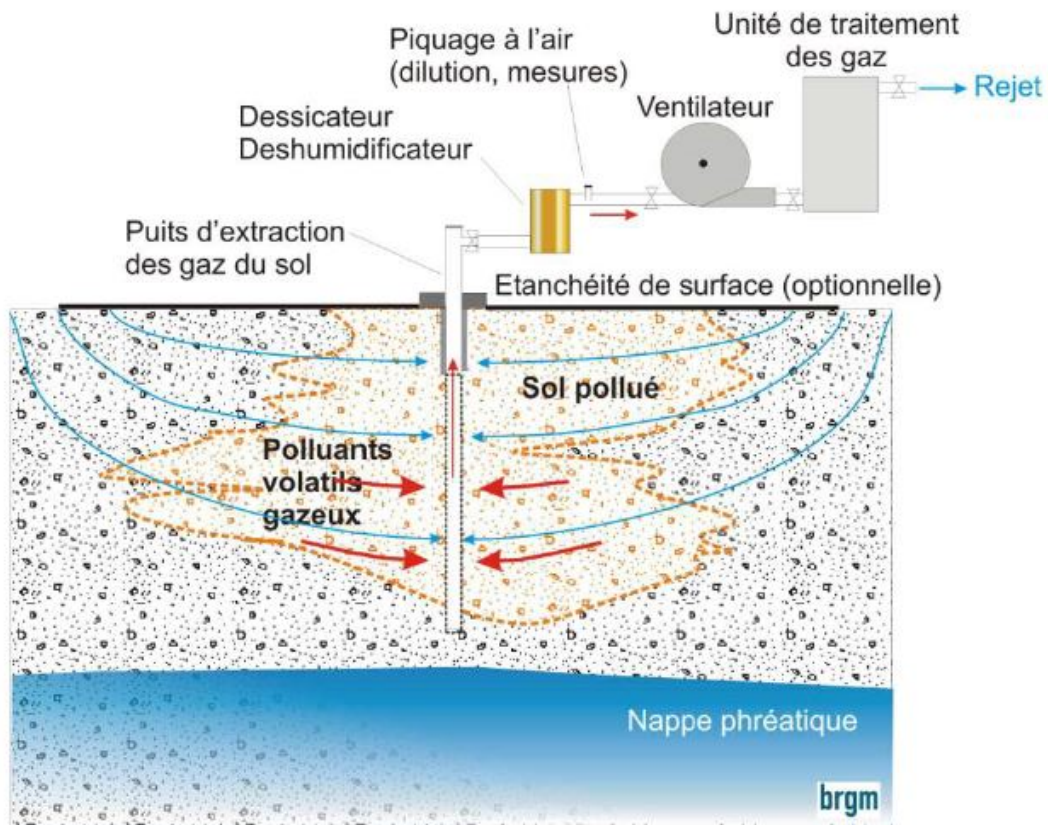
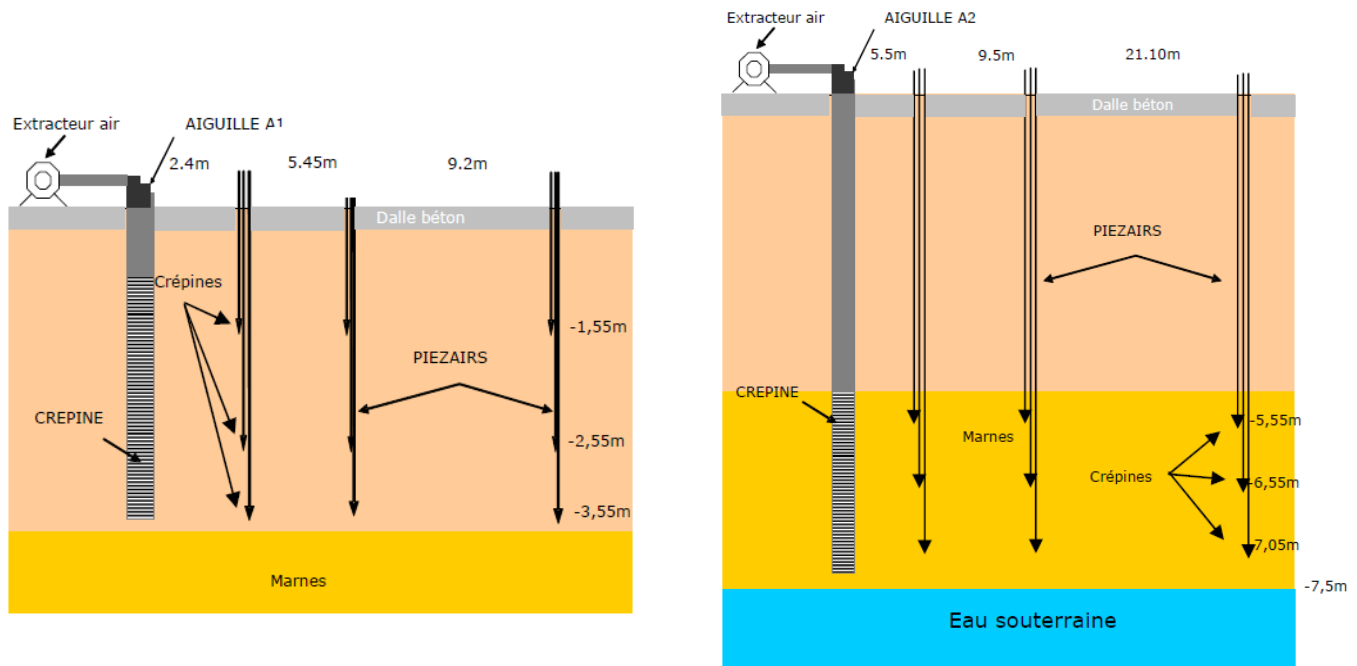


Schéma de principe de traitement par venting ou air vacuum (d'après le document « Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts – bénéfiques » édité par le BRGM en juin 2010)

Essais réalisés et résultats

Ces essais ont été réalisés au nord de la zone P3 Chenil qui présente des sols impactés par des substances volatiles polluantes (COHV) jusque la nappe perchée. Ils ont compris la mise en place de deux ouvrages d'extraction de gaz du sol implantés dans les remblais (crépines de 1 à 4 m de profondeur) ou les marnes (crépines de 5 à 8 m de profondeur). Des pointes d'observation en flûtes de pan ont été installées autour des ouvrages d'extraction afin de déterminer le rayon d'action des puits d'extraction.

Les essais réalisés ont montré que ce système était efficace sur la tranche de terrain 0-2 m (avec un rayon d'influence de l'ordre de 7,5 m) mais pas pour les terrains marneux sous-jacents, moins perméables (rayon d'influence compris entre 2,5 m et 7,5 m).



Compte tenu de ces résultats, de la nature hétérogène des terrains, des profondeurs des pollutions rencontrées et des surfaces importantes des zones impactées, cette technique de réhabilitation n'est pas jugée applicable dans le cas présent.

5.1.2 Aération mécanique

Des essais de traitement par malaxage des terres ont été réalisés au droit des zones P2 et P3, dont les terres impactées par des substances polluantes volatiles (COHV et BTEX). Ces essais ont été réalisés afin d'étudier la possibilité de traiter les terres sur site et ainsi de limiter au maximum leur élimination hors-site. Ils ont consisté en l'excavation de matériaux pollués et en leur malaxage dans un godet Rotar afin de déterminer le taux d'abattement en composés volatils présent dans les sols en fonction du temps d'aération mécanique. Plusieurs essais ont été réalisés en fonction des différentes formations géologiques présentes au droit du site.



Les COHV et BTEX ont été analysés sur les terres malaxées après les temps de passage suivants : 0, 2, 4, 6, 12 minutes. Pour chaque phase d'échantillonnage, 3 échantillons ont été analysés afin d'obtenir des concentrations moyennes représentatives des terres malaxées.

Ces essais ont présenté des résultats très hétérogènes pouvant principalement s'expliquer par la nature (sableuse ou argileuse) des sols rencontrés, le temps de passage dans le godet et les incertitudes liées aux opérations d'échantillonnage. Les principaux résultats sont repris dans le Tableau suivant :

Tableau 9 : Impact du chaulage sur le caractère lixiviable des métaux des remblais

Zone	Sondage	Nature des sols	Temps de malaxage	Composé	Concentration initiale moyenne (mg/kg)	Concentration moyenne après malaxage (mg/kg)	Abattement
P2	SD9(0-3,1m)	Remblais sablo-graveleux	12 minutes	BTEX	11	5	55%
				COHV	115	65	43%
	SD9 (3,1-4,1m)	Argiles limoneuses	12 minutes	BTEX	1	1	0%
				COHV	17	11	35%
P3	SD1 (8-11m)	Marnes	2 minutes	BTEX	1	3	0%
				COHV	1	1	0%
	SD2 (2-5m)	Marnes sableuses	2 minutes	BTEX	0	0	0%
				COHV	3	8	0%
	SD3 (3-5m)	Marnes sableuses	2 minutes	BTEX	0	0	0%
				COHV	0	0	0%
	SD4 (4-5m)	Marnes	4 minutes	BTEX	0	0	0%
				COHV	292	61	79%
	SD7(2,6-4,4)	Sables argileux	12 minutes	COHV	114	3	98%
	SD7 (4,4-5,1)	Marnes sableuses		COHV	196	8	96%
SD8 (0-2,4m)	Remblais sablo-argileux	12 minutes	COHV	29	31	0%	
SD8 (2,4-3,1m)	Sables argileux		COHV	9	7	22%	

L'efficacité de ce type de traitement s'est avérée très bonne sur des matériaux secs, mais nettement moins efficace sur des matériaux humides ou argileux qui ont tendance à s'agréger sous forme de mottes (phénomène de remottage) limitant ainsi les phénomènes de volatilisation.

5.1.3 Essais de chaulage

Afin d'améliorer le taux d'abattement des composés volatils dans les matériaux argileux ou humides, il est communément ajouté de la chaux vive, en raison de son fort pouvoir asséchant (engendrant également une réaction exothermique favorisant le dégazage des polluants).

Des essais de chaulage ont été effectués afin d'évaluer l'éventuel impact de l'ajout de chaux sur le caractère lixiviable des métaux présents dans les matériaux du site et en particulier dans les remblais. Ces essais ont été réalisés sur 4 échantillons prélevés au sein des zones P2 Genevoix et P3 Chenil. Ces essais ont montré que certains métaux (Cr, Cu, Pb, Zn), non lixiviables initialement, le deviennent légèrement (2% maximum) par ajout de chaux vive (2%). Un tel complément de traitement des sols semble donc être applicable pour extraire les substances volatiles des sols humides ou argileux. Ces résultats proviennent d'essais réalisés en laboratoire, ils ne traduisent pas nécessairement les conditions rencontrées sur le terrain (variation de la qualité des matériaux, du pourcentage de chaux ajoutée).

Tableau 10 : Impact du chaulage sur le caractère lixiviable des métaux des remblais

Composé	Unité	LQ	Genevoix		Genevoix		Chenil		Chenil	
			Non chaulé	Chaulé	Non chaulé	Chaulé	Non chaulé	Chaulé	Non chaulé	Chaulé
METAUX										
arsenic	mg/kg	<4	12	8,8	11	*	9,2	14	8,4	15
cadmium	mg/kg	<0,2	0,55	0,54	1,1	0,70	0,22	0,22	0,20	0,24
chrome	mg/kg	<10	24	19	24	17	29	19	25	21
cuivre	mg/kg	<5	81	91	37	39	62	62	59	81
mercure	mg/kg	<0,05	1,1	1,1	0,54	0,51	0,70	0,73	0,64	0,94
plomb	mg/kg	<10	140	130	39	45	58	55	67	89
nickel	mg/kg	<3	18	11	15	14	17	38	18	15
zinc	mg/kg	<20	240	200	140	140	130	150	130	170
LIXIVIATION										
ELUAT METAUX										
arsenic	mg/kg	<0,1	*	*	*	*	*	*	*	*
cadmium	mg/kg	<0,01	*	*	*	*	*	*	*	*
chrome	mg/kg	<0,1	*	0,31	*	*	*	*	*	*
cuivre	mg/kg	<0,1	*	0,82	*	0,37	*	1,3	*	1,3
mercure	mg/kg	<0,001	*	*	*	*	*	*	*	*
plomb	mg/kg	<0,1	*	1,1	*	0,15	*	*	*	0,11
nickel	mg/kg	<0,1	*	*	*	*	*	*	*	*
zinc	mg/kg	<0,2	*	0,36	*	*	*	*	*	*

5.2 Traitement de la nappe perchée

5.2.1 Présentation des techniques testées

Oxydation chimique in-situ (ISCO)

Cette technique consiste à injecter un oxydant dans le milieu ou les milieux à traiter et a pour objectif de détruire totalement ou partiellement les polluants. L'oxydation chimique in-situ peut être appliquée dans les zones non saturée et saturée sur un large spectre de polluants organiques dont les COHV et les BTEX, même à des concentrations très importantes.

Cette technique nécessite principalement l'installation de points/système d'injection au droit de la zone polluée, d'un système de stockage/préparation de l'oxydant et de piézomètres de contrôle afin de valider l'efficacité du traitement ou de la nécessité d'injections complémentaires.

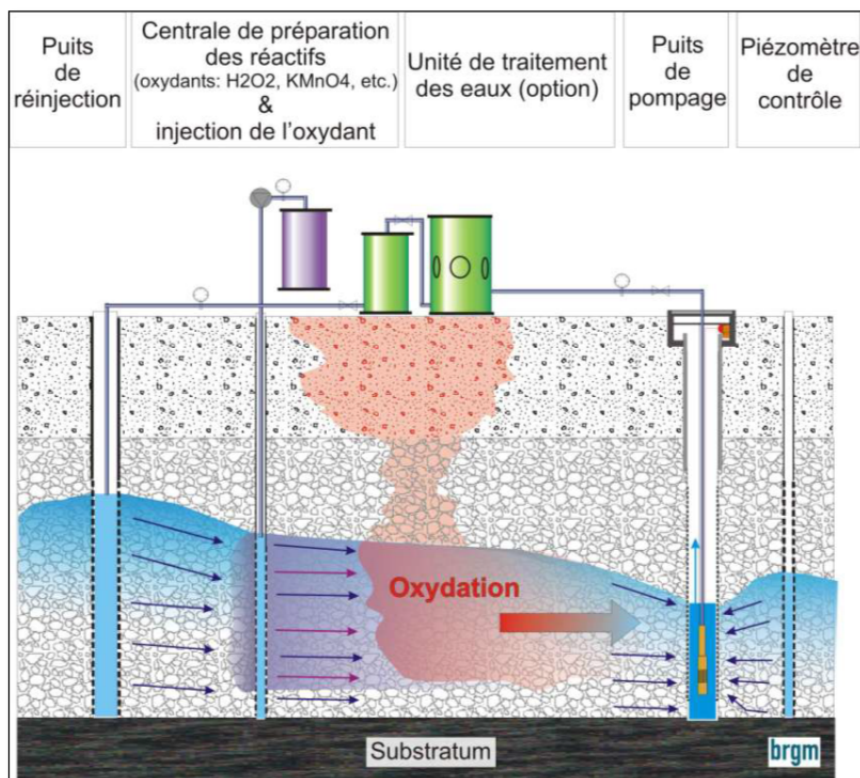


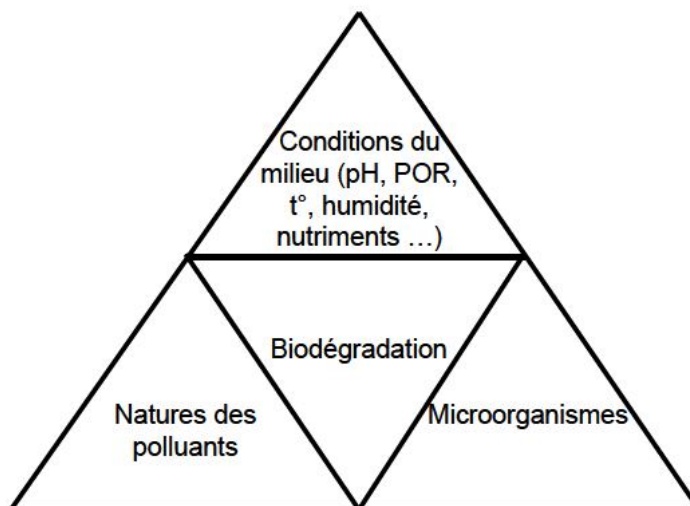
Schéma de principe de traitement par ISCO (d'après le document « Quelles techniques pour quels traitements – Analyse coûts – bénéfices » édité par le BRGM en juin 2010)

Biostimulation anaérobie :

Cette technique consiste en la dynamisation de processus naturels de dégradation en créant les conditions favorables (oxygène, pH, température, potentiel d'oxydo-réduction) à l'activité des microorganismes responsables de la biodégradation des COHV.

Dans le cas de COHV, il est nécessaire d'obtenir ou de maintenir des conditions anaérobies permettant au processus de dégradation naturel principal, à savoir la déchlorination réductrice anaérobie, d'exister. Cette technique nécessite l'ajout de donneurs d'électrons (nutriments) tels que la mélasse ou le lactate de sodium qui favorisent les réactions de réduction anaérobie.

Cette technique permet d'agir directement sur les milieux impactés. Elle nécessite principalement un système d'injection de donneurs d'électrons, une unité d'injection et un réseau piézométrique de suivi la qualité des eaux souterraines notamment à l'aval du panache de pollution, afin de valider de l'efficacité du traitement ou de la nécessité d'injections complémentaires.



Triangle de la biodégradation (Suthersan S., 1997)

5.2.2 Zone impactée P1

Compte tenu des fortes concentrations en alcools et acétone détectées dans les sols et les eaux souterraines, la solution technique envisagée au droit de cette zone consistait en la réalisation d'un traitement par oxydation chimique in situ. Le pH basique des eaux souterraines au droit de cette zone, avait conduit à envisager l'utilisation de persulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) activé par apport de soude (NaOH).

Dans un premier temps, l'efficacité du persulfate de sodium a été testée en laboratoire. Ces tests ont montré que le pH élevé caractérisant l'aquifère de la zone P1 n'était pas suffisant pour permettre l'activation du persulfate de sodium. Des résultats probants (>80 % abattement en acétone, >55 % abattement en dichloroéthane et dichlorméthane en 9 jours) ont été obtenus en ajoutant de la soude (10 % vol).

Sur cette base, des essais in-situ ont été réalisés avec injection de ces réactifs en nappe (1 000 kg de persulfate de sodium activé à la soude (800kg)). Les résultats obtenus sur site montrent que l'oxydation chimique au persulfate de sodium activé en milieu basique n'est pas adaptée au traitement de la zone P1 (très faible efficacité de dégradation des polluants organiques avec solubilisation des métaux et particulièrement de l'arsenic).

5.2.3 Zone source P2

La pollution de cette zone étant difficilement traitable par voie biologique (présence simultanée de COHV et de BTEX, l'un étant plus facilement biodégradable en milieu aérobie et l'autre en milieu anaérobie), une solution de traitement par oxydation chimique in-situ (ISCO) a été privilégiée. Compte tenu des contraintes de délais, les tests ont été menés simultanément en laboratoire et en in-situ.

Pilote in-situ

Un essai de traitement de la nappe a été réalisé en fond de fouille par ajout de persulfate de sodium (3 g/kg) activé par du peroxyde de calcium (3 g/kg). Ces réactifs ont été malaxés avec les terres présentes sur les 3 m de zone saturée. Cet essai n'a montré aucune évolution significative des concentrations en BTEX et COHV.

Essais en laboratoire

Des essais ont été réalisés en laboratoire afin de sélectionner les réactifs et déterminer les quantités à injecter pour obtenir une dégradation optimale des contaminants. Les réactifs suivants ont été testés au trois concentrations suivantes : 10, 15 et 20 g/kg.

- 1) Persulfate activé par de l'oxyde l'aluminium ;
- 2) Persulfate de sodium activé par du peroxyde de calcium.

Ces essais laboratoires ont démontré que :

- Les quantités de réactifs ajoutés lors de l'essai initial in-situ (3 g/kg de persulfate de sodium + 3 g/kg de peroxyde de calcium) étaient nettement insuffisants (abattement de 20 % pour les COHV et de 50/60 % pour les BTEX) ;
- Des résultats intéressants (abattement en 4 semaines de plus de 70 % PCE et de plus de 90 % des autres COHV et des BTEX) ont été obtenus avec une dose de 20 g/kg persulfate de sodium + 20 g/kg peroxyde de calcium ;
- Des résultats moins probants ont été obtenus par ajout de persulfate activé par de l'oxyde l'aluminium (à dosage équivalent). Les abattements constatés étaient de 20 à 50 % pour les COHV (et aucun effet sur le PCE), et 50 à 75 % pour les BTEX (et aucun effet sur l'éthylbenzène).

5.2.4 Zone source P3

Pilote in-situ - biostimulation

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines impactées par des COHV au droit de cette zone semblent relativement favorables à la mise en œuvre d'un traitement par biostimulation anaérobie des eaux souterraines. Deux essais de traitement de la nappe in-situ par bio-stimulation ont donc été réalisés au droit de cette zone. Les réactifs suivants ont été testés :

- 1) Lactate de sodium et huile végétale émulsifiée. Le lactate de sodium est un composé totalement soluble, très aisément et rapidement assimilable par les communautés bactériennes. Il en résulte une mobilité importante et un temps de séjour dans le milieu souterrain souvent court. L'émulsion d'huile végétale, quant à elle, est constituée de gouttelettes microscopiques d'huile en suspension dans l'eau qui migrent latéralement depuis leur point d'injection et viennent se fixer sur les particules de sol. Une fois stabilisées, elles relarguent un flux continu de matière organique dissoute dans les eaux souterraines alimentant le processus de biodégradation des solvants chlorés à plus long terme ;
- 2) EHC. Ce produit est l'association d'une source de carbone (extrait de blé) et d'une poudre de fer zéro valent. Cette combinaison permet de développer plusieurs mécanismes chimiques et biologiques : réductions abiotique et chimique dues à l'ajout de fer zéro valent, combinées à une action de biostimulation anaérobie grâce à la fermentation de la source de carbone associée.

Ces essais ont consisté en l'injection de ces deux réactifs dans deux piézomètres et le suivi de la qualité des eaux souterraines dans les piézomètres d'injection et des ouvrages situés en aval de ceux-ci.

Au total, 250 kg de lactate de sodium à 60% et 200 kg d'huile végétale émulsifiée ont été injectés en nappe pour le premier essai et 200 kg d'EHC ont été injectés en nappe pour le second essai.

Les deux essais réalisés au droit de cette zone montrent l'existence d'une activité de réduction des solvants chlorés. Les résultats semblent plus probants dans le cas de la combinaison d'huile et de lactate mais dans les deux cas les quantités de réactifs injectés ont été insuffisantes pour finaliser le traitement au droit de la zone testée. Un abattement de 40 à 60% des COHV a été constaté dans les ouvrages situés entre 1,5 et 3 m du puits dans lequel a été injecté le mélange d'huile et de lactate, contre un abattement de 50 % du TCE et une forte augmentation du cis-DCE dans les ouvrages situés entre 1,5 et 3 m du puits dans lequel a été injecté l'EHC.

Essai en laboratoire - ISCO

Un essai laboratoire a également été réalisé afin de déterminer si un traitement par oxydation chimique était envisageable. À cette fin, du permanganate de potassium (KMnO_4) dosé à différentes concentrations (4,8, 14,4 et 28,8 g/kg) a été ajouté à des échantillons de sols et d'eau de nappe impactés par des COHV. Le suivi analytique des COHV montre une importante dégradation de la majorité des polluants dès la plus faible dose d'oxydant appliquée (4,8 g/kg). Ce traitement semble envisageable mais il réduirait toutefois considérablement la population bactérienne capable de dégrader les COHV, limitant ainsi les phénomènes d'atténuation naturelle à plus long terme.

5.2.5 Conclusion sur les essais pilotes de traitement

Essais pilotes de traitement des sols

Les essais pilotes réalisés ont conduit à écarter le traitement des sols par venting, car la technique est peu efficace dans les terrains marneux sous-jacents aux remblais.

La méthode la plus efficace, pour traiter les matériaux impactés en zone non saturée (0 à 8/9 m environ) est l'excavation et l'aération mécanique (utilisant une technique plus destructurante que celle utilisée - godet Rotar - lors des essais réalisés), avec ajout de chaux en cas de matériaux humides ou argileux (la chaux ayant des propriétés asséchantes permettant de se prémunir des phénomènes de remottage). Les limites techniques de cette méthode compte-tenu des résultats des essais pilotes, des retours d'expérience d'ENVIRON pour des composés et des terrains similaires et de la consultation d'entreprises de travaux, sont de l'ordre de 2 mg/kg pour les COHV et de 4 mg/kg pour les BTEX.

Essais pilotes de traitement des eaux souterraines

Zone P1 :

Parmi les techniques possibles, l'oxydation chimique avait montré des résultats intéressants en laboratoire pour le traitement de la zone P1. Cependant ces résultats n'ont pas été confirmés sur le terrain et l'oxydation chimique ne s'avère pas efficace pour le traitement de la nappe au droit de cette zone. Des investigations et des essais pilotes complémentaires devront être réalisés afin respectivement d'identifier la source potentielle dans les sols et de déterminer la faisabilité de traitement de cette zone.

Zone P2 :

Au droit de la zone P2, un traitement par oxydation chimique de la zone saturée et de la nappe semble être réalisable par malaxage des terres situées en zone saturée avec ajout de persulfate de sodium et de peroxyde de calcium à un dosage de 20 g/kg. En laboratoire, ce dosage a permis d'abattre les concentrations de 70% pour le PCE et de 90% pour les autres COHV et les BTEX. Ces résultats devront cependant être confirmés sur le terrain, car l'essai pilote réalisé sur site a montré des résultats moins probants pour un dosage inférieur.

Zone P3 :

Au droit et en aval de la zone P3, un traitement de la zone saturée semble être réalisable par biostimulation anaérobie. L'injection de lactate de sodium ou d'huile émulsifiée est privilégiée. Les essais réalisés indiquent un abattement probable des concentrations de l'ordre de 40 à 60% pour les COHV.

Il est à noter qu'il est prévu la réalisation en 2014 d'un test pilote par ajout de fer zéro valent en vue d'un traitement de fond de fouille lors des travaux d'excavation.

6 Schéma conceptuel envisagé

Le schéma conceptuel du site permet de « visualiser » les principaux éléments pris en compte pour l'évaluation des risques et sa traduction pour le cas spécifique du site. Le schéma conceptuel du site est fondé sur un inventaire des liens « source – vecteur – cible » susceptibles d'exister et comprenant :

- La caractérisation du terme « source » par quantification des teneurs des substances identifiées ;
- L'identification des cibles potentielles (récepteurs) ; et,
- L'identification des vecteurs, voies de transferts possibles entre les sources et les cibles potentielles.

Par principe, un risque ne peut exister que si les liens source-vecteur-cible sont établis, autrement dit, si le récepteur est effectivement susceptible d'être exposé à un polluant donné par une voie de transfert identifiée. L'absence d'un (ou plus) des trois éléments de la chaîne source-vecteur-cible entraîne de facto l'absence de risque pour le scénario considéré.

Compte tenu du contexte environnemental, des impacts identifiés sur le site et de l'usage futur retenu, le schéma conceptuel du site suivant peut être envisagé (voir Figures 38).

6.1 Sources

Sur site, les impacts identifiés sont constitués :

- Des sources sols mises en évidence au niveau des zones « P2 Genevoix » et P3 Chenil » et « Zone des remblais nord-ouest » (sur des profondeurs pouvant atteindre 11 m) présentant des concentrations en BTEX et/ou COHV importantes ;
- Des impacts mis en évidence au niveau de la zone P1 « Léonard de Vinci » dans les sols entre 7 et 12m de profondeur présentant des concentrations en solvants polaires (acétone et alcools) et COHV importantes ;
- Des eaux de la nappe perchée au niveau des zones P1 « Léonard de Vinci », P2 « Genevoix » et P3 « Chenil » présentant des concentrations en acétone, alcools, BTEX et COHV ;
- Des eaux de la nappe perchée, localement impactées par le chrome et l'arsenic ;
- Des eaux de la nappe de l'Eocène impactées par transferts de polluants depuis les sources sols sus-jacentes et la nappe perchée.

Hors-site, en aval hydraulique des zones sources, les eaux souterraines (nappe perchée et nappe de l'Eocène) présentent des concentrations résiduelles en solvants (BTEX et/ou COHV).

Au vu de leurs caractéristiques physico-chimiques, des résultats d'analyses et des observations de terrain réalisées lors des investigations, les substances concernées se

trouvent sous les formes et dans les compartiments suivants : (1) adsorbées sur les particules du sol, (2) en phase pure dans la porosité du sol (3) en phase vapeur dans l'air interstitiel du sous-sol et (4) dissoutes dans les eaux souterraines.

6.2 Voies de transfert et d'exposition

Compte tenu de l'usage futur de type industriel retenu impliquant la couverture des sols par des voiries, des bâtiments ou des espaces vert, l'inhalation de poussières et l'ingestion involontaire de sols de surface impactés [intervenant à l'extérieur sur les zones non recouvertes (espaces verts)], ne sont pas retenues. Les futurs espaces verts devront être réalisés sur des matériaux d'apport sains.

De plus, compte tenu des usages de l'eau (au droit du site et en aval hydraulique), l'ingestion d'eaux souterraines impactées (à partir d'un puits privé) et l'ingestion de végétaux autoproduits irrigués par de l'eau souterraine impactée et/ou cultivés sur des sols impactés ne sont pas des voies d'exposition retenues.

Les différents mécanismes et voies d'exposition potentiels anticipés sur le site et hors-site sont donc :

- L'inhalation de vapeurs issues des sols et des eaux souterraines impactés par des substances volatiles (principalement les solvants chlorés, BTEX, alcools), intervenant aussi bien en extérieur qu'à l'intérieur de bâtiments ;
- Le transfert de polluants hors-site via les eaux souterraines (nappe perchée et nappe de l'Eocène) puis l'inhalation de vapeurs issues des eaux souterraines à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments.

6.3 Cibles

Les récepteurs considérés sont les futurs usagers potentiels du site (adultes employés) et hors-site (enfants et adultes, dans des scénarios résidentiels et tertiaires).

6.4 Risques environnementaux

Au niveau des eaux de surface, le risque environnemental n'est pas considéré car aucun transfert des eaux de la nappe perchée vers les eaux de surface (via le Canal de L'Ourcq) n'est possible. En effet, le fond du canal est à un niveau altimétrique supérieur à celui de la nappe perchée (1 à 4 m de différence de niveau – cf. § 3.3). Le canal alimente potentiellement la nappe perchée dans le secteur d'étude.

Pour les eaux souterraines, les migrations verticales de polluants depuis les horizons superficiels (phénomènes de lixiviation) sont prises en compte et suivies via les campagnes de surveillance de la qualité des eaux souterraines. Le réseau de piézomètres existants permet de délimiter les impacts dans les nappes.

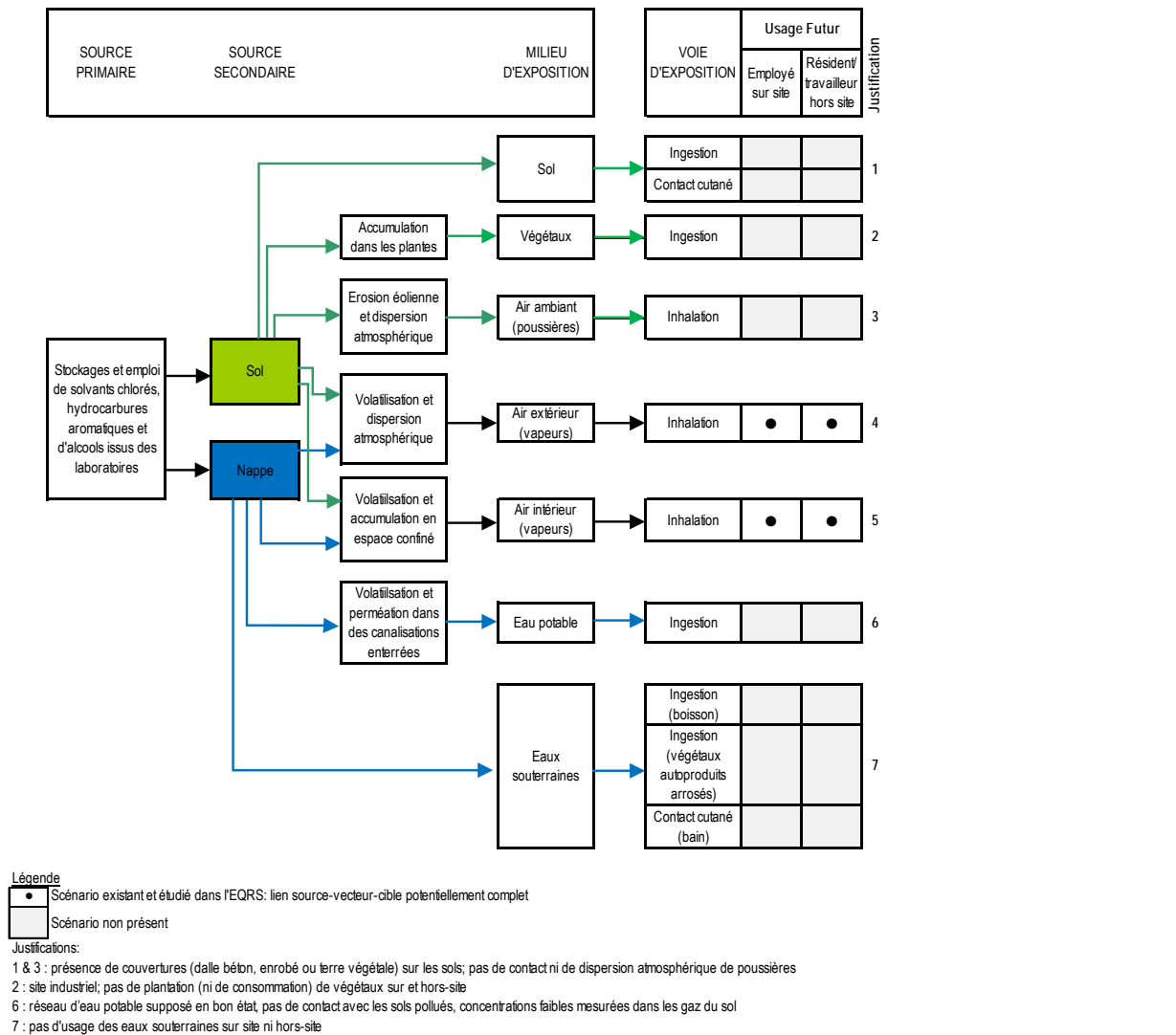
6.6 Synthèse

Une voie d'exposition est définie par l'existence d'une voie de transfert entre un récepteur et une source permettant à une source potentielle de pollution d'impacter un récepteur.

Le risque pour les récepteurs (ici employés du site et résidents/travailleurs en aval hors-site) est évalué pour chaque voie d'exposition avérée.

Sur cette base ainsi que d'après les éléments détaillés dans les sections précédentes, le schéma conceptuel du site est synthétisé dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Schéma conceptuel du site



Conclusion

La seule voie d'exposition des futurs employés au droit du site et des résidents/travailleurs hors-site est l'inhalation de substances organiques volatiles.

Compte tenu du schéma conceptuel et des sources sols identifiées, le plan de gestion proposé portera principalement sur la réduction de la masse de contaminants des zones sources sols afin de réduire les transferts vers les eaux souterraines ainsi que les remontées de vapeurs de polluants au niveau des espaces extérieurs et des bâtiments.

7 Bilan coûts/avantages des options de gestion

Le bilan coûts/avantages présenté ci-après a été établi à partir des données disponibles décrivant la situation environnementale du site, de l'applicabilité des différentes techniques de dépollution sur la base des résultats des essais pilotes, et en tenant compte d'un redéveloppement de type industriel comme détaillé précédemment dans le schéma conceptuel.

7.1 Approche générale de gestion

Le bilan coûts/avantages prévu par la méthodologie nationale a pour objectif de sélectionner de façon optimale la ou les combinaison(s) d'option(s) de réhabilitation qui permet(tent), dans une enveloppe de coûts de :

- Réduire et contrôler durablement la source de dégradation de la qualité des sols et/ou des eaux souterraines (principe de traitement des sources énoncé dans les Circulaires du 08 février 2007), même en l'absence de risque ;
- Protéger la santé humaine et l'environnement, notamment en supprimant les voies de transfert des polluants vers les récepteurs potentiels.

Cette méthodologie se traduit au niveau de la gestion du site par les objectifs suivants :

- Privilégier les options de gestion permettant de traiter définitivement les sources de pollution identifiées quand cela est techniquement et économiquement possible, même en l'absence de risque, en tenant compte d'un bilan environnemental global ;
- Favoriser les décisions permettant la désactivation de la ou des voie(s) de transfert des polluants vers les récepteurs potentiels ;
- Moduler le redéveloppement pour réduire encore les expositions potentielles sur le site.

Ce bilan coûts/avantages présente les différentes techniques de réhabilitation adaptées aux niveaux de concentrations, au contexte géologique et hydrogéologique du site, et aux contraintes du projet. Il met en perspective :

- Les performances des techniques de réhabilitation et leur impact sur la pollution ;
- Les durées de mise en œuvre et de traitement ;
- Les coûts associés : coûts de mise en place des solutions étudiées et coûts de traitement ;
- Les avantages et inconvénients éventuellement liés à chaque technique de réhabilitation considérée.

7.2 Sélection de solutions de réhabilitation envisageables

7.2.1 Critères de sélection

Les critères considérés pour sélectionner les techniques de réhabilitation applicables sur le site sont multiples : techniques, normatifs, environnementaux, économiques et socio-politiques^{14,15} :

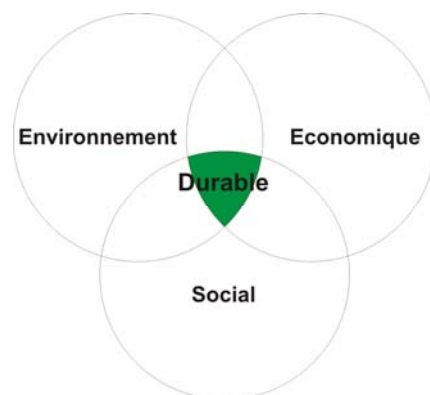
- Respect des réglementations et guides en vigueur ;
- Efficacité et fiabilité à long terme : le site doit être mis dans un état compatible avec l'usage futur prévu, la ou les sources de pollution doivent être durablement retirées ;
- Réduction du risque pour les différentes voies d'exposition, de la toxicité, de la mobilité, ou du volume de déchets ;
- Efficacité à court terme ;
- Applicabilité :
 - Au type de contaminant ;
 - À la géologie et à l'hydrogéologie locale ;
 - Aux contraintes sur et en bordure du site (espace disponible, nuisances, contraintes HSE, impacts sur les activités de production).

- Opérabilité, investissement initial et coûts d'opération et de maintenance ;
- Rendement environnemental pour minimiser l'impact global :
 - Minimiser ou éliminer la consommation d'énergie ou la consommation d'autres ressources naturelles ;
 - Minimiser l'impact environnemental ;
 - Réduire ou éliminer les rejets dans l'environnement ;
 - Exploiter ou mimer les processus naturels ;
 - Maximiser la réutilisation ou le recyclage des terrains et des matériaux ;
 - Encourager l'utilisation de technologies de réhabilitation qui détruisent définitivement les contaminants.
- Acceptabilité par la société civile et les autorités (nuisances liées au chantier, projet d'aménagement sur un site avec des teneurs en polluants résiduelles, restrictions d'usage) ;
- Nuisances générées ;
- Calendrier réalisable (en fonction d'un futur projet de redéveloppement).

¹⁴ BRGM (2010) « Quelles techniques pour quels traitements – Analyses coûts/ bénéfiques » - BRGM, juin 2010 - Rapport final

¹⁵ ITRC (2011) Green and Sustainable Remediation: State of the Science and Practice. May 2011. GSR-1.

La prise en compte de l'ensemble de ces critères doit permettre de choisir un mode de gestion maximisant le bénéfice environnemental net (Net Environmental Benefit Analysis - NEBA)^{16,17} dans une approche générale de « Dépollution durable » (Sustainable remediation)^{15,18}.



Graphique 1 : Principe de réhabilitation « durable »

7.3 Typologie des zones sources

Les investigations réalisées sur site ont permis de délimiter les zones sources sols suivantes :

Zone des remblais nord-ouest : remblais de surface impactés par des métaux et des solvants chlorés. L'emprise de la zone concernée est comprise entre 1 000 et 2 400 m² sur une épaisseur variant entre 2 et 5 m ;

Zone source «P2 Genevoix » : les sols au droit de cette zone sont impactés par des BTEX et des solvants chlorés. L'emprise de la zone concernée est de 2 500/2 700 m² entre 0 et 4 m de profondeur puis comprise entre 900 et 1 600 m² entre 4 et 12 m de profondeur ;

Zone source «P3 Chenil » : les sols au droit de cette zone sont impactés par des solvants chlorés. L'emprise de la zone concernée est de 1 500 m² entre 0 et 5 m de profondeur puis de 200 à 500 m² entre 5 et 12 m de profondeur.

La zone P1 présente des impacts en alcools, acétone et solvants chlorés identifiés dans les sols localisé entre 7 et 12 m de profondeur (surface estimée à 400/650 m²) et dans les eau de la nappe perchée. Aucune source sol n'a été clairement identifiée et délimitée. De plus, les essais pilotes effectués sur cette zone n'ont pas permis de mettre en évidence de solution de réhabilitation efficace dans la zone saturée de la nappe perchée. Cette zone devra donc faire l'objet d'investigations complémentaires (sondages, essais pilotes) pour répondre à ces interrogations. Une fois ces données obtenues, un Plan de Gestion spécifique sera réalisé pour cette zone P1 qui ne fait donc pas partie du présent Plan de Gestion.

¹⁶ Efrogmson, R., Nicolette, J. and Suter, G. 2004. A Framework for net environmental benefit analysis for remediation or restoration of contaminated sites. Environmental Management. 34, 3, 315-331.

¹⁷ US EPA (2009) Ecological revitalization: Turning Contaminated Properties into Community Assets; EPA 542-R-08-003, February 2009; <http://www.cluin.org/greenremediation>

¹⁸ ITRC (2011) Green and Sustainable Remediation: A Practical Framework. November 2011. GSR-2.

7.4 Présentation des solutions présélectionnées

Une présélection de solutions de réhabilitation selon les critères décrits précédemment a été réalisée sur la base du rapport BRGM de 2010¹⁴ et des documents disponibles sur les sites ITRC¹⁹, FRTR²⁰, CLU-IN de l'USEPA²¹ et ainsi que de l'expérience d'ENVIRON sur des projets de réhabilitation similaires. Les données issues des essais pilotes laboratoire et in-situ ont également été prises en compte. Cette présélection est synthétisée dans le Tableau 12 et est accompagnée d'un bref descriptif des techniques.

Sur la base des impacts identifiés (typologies de zone source), les solutions présélectionnées pour la gestion des pollutions identifiées sur le site sont résumées dans le tableau ci-dessous. Elles concernent :

- Des solutions de confinement ;
- Des solutions d'excavation avec traitement sur site ou évacuation hors-site ;
- Des solutions de traitement in situ.

Les différentes solutions sont évaluées pour les milieux sols et eaux souterraines, certaines solutions pouvant être appliquées simultanément sur les deux milieux. Leur pré-sélection dépend principalement de l'applicabilité des techniques aux conditions spécifiques du site associées en particulier à :

- La géologie et l'hydrogéologie du site ;
- La répartition verticale et horizontale des impacts observés sur site ;
- Les cocktails de substances observés (si c'est le cas) ;
- La durée de traitement vis-à-vis du planning de redéveloppement ;
- L'efficacité du traitement conjointement sur les milieux sols et eaux souterraines.

¹⁹ www.itrcweb.org

²⁰ www.frtr.gov

²¹ www.clu-in.org

Tableau 12 : Présélection des solutions de réhabilitation envisageables sur le site

Technique	Description	Compartment traité	Sols ZNS	Sols ZS	Eaux sout.	Avantages	Inconvénients	Prérequis	Abatement attendu	Durée	Pré-sélection
Confinement											
Confinement	Création d'un sarcophage (couverture et parois coulis de béton)	Confinement des sols et nappe	✓	✓	✓	- Isolation de la source vis-à-vis de la nappe et des utilisateurs du site - Adapté aux substances non volatiles (ex métaux, POC, etc.)	- Pas de traitement de la pollution en place - Limite mais n'empêche pas les remontées de vapeurs de substances volatiles - Coût très élevé	- Délimitation précise des zones impactées - Validation des paramètres géotechniques et des objectifs de la technique	0%	< 1 an	Non
Excavation et évacuation hors-site											
Excavation et évacuation hors site	Retrait direct des terres contaminées et transfert vers un centre de traitement agréé	Traitement des sols de la ZNS, éventuellement sous nappe	✓	(✓)		-Élimination immédiate et définitive de la pollution - Technique éprouvée - Possible optimisation des coûts selon la granulométrie (criblage, lavage et remblaiement partiel sur site) - Durée de dépollution réduite (quelques mois de travaux) - Peut être complétée et est compatible avec toute autre technique de dépollution	- Consommation de ressources naturelles - Transport des déchets hors site - Nécessité d'un confortement des fouilles pour excaver en profondeur en maîtrisant l'emprise des fouilles ou sous nappe - Gestion des eaux pour excavation sous nappe - Emissions atmosphériques, odeurs - Coûts d'élimination très élevés	- Délimitation précise des zones impactées (maillage) - Validation des filières et négociation des coûts (nécessité d'échantillons) - Caractérisation des matériaux (granulométrie, tenue mécanique, siccité) - Validation des modes de gestion des eaux - Définition d'un mode de confortement des fouilles - Validation des contraintes géotechniques associées aux excavations à proximité de voirie, bâtiment, ...	Zone excavée : 100%	< 1 an	Oui Sols surface (zones Nord & ouest) Sources sols (zones P2 & P3 - 0/11m)
Excavation et traitement sur site											
Excavation et désorption thermique sur site	Retrait direct des terres contaminées et chauffage des terres et volatilisation des contaminants au moyen d'une unité mobile ou d'un terre implanté sur site	Traitement des sols de la ZNS, éventuellement sous nappe	✓	(✓)		- Élimination immédiate et définitive de la pollution- Technique éprouvée - Traitement relativement rapide par rapport aux techniques in-situ - Concentrations résiduelles faibles dans les terres pour l'ensemble des contaminants organiques - Pas de transport hors site	- Idem excavation : confortement, gestion des eaux et prétraitement des terres peuvent être requis - Coût élevé d'aménage/repli pour unité - Cadence de traitement (faible) - Surcoût pour le traitement des vapeurs chlorés Inefficacité sur les substances non volatiles (métaux)	- Idem excavation : validation du mode de gestion des eaux et du confortement requis - Nécessité d'un dossier d'Autorisation - Dates de disponibilité d'une machine à vérifier	95-99%	< 1 an	Oui Sols surface (zones Nord & ouest) Sources sols (zones P2 & P3 - 0/11m)
Excavation et extraction sous vide sur site	Retrait direct des terres contaminées et brassage des terres en caisson sous vide avec récupération et traitement des vapeurs	Traitement des sols de la ZNS, éventuellement sous nappe	✓	(✓)		- Élimination immédiate et définitive de la pollution - Traitement ciblé des composés volatils - Traitement relativement rapide par rapport aux techniques in-situ - Coûts modérés - Pas de transport hors site	- Idem excavation : confortement, gestion des eaux et prétraitement des terres peuvent être requis - Cadence de traitement (en présence de fortes concentrations) - Inefficacité sur les substances non volatiles (métaux)	- Idem excavation : validation du mode de gestion des eaux et du confortement requis	80% sur les composés volatils	< 1 an	Oui Sols surface (zones Nord & ouest) Sources sols (zones P2 & P3 - 0/11m)
Excavation et extraction mécanique sur site	Retrait direct des terres contaminées et brassage mécanique des terres sous tente avec récupération et traitement des vapeurs	Traitement des sols de la ZNS, éventuellement sous nappe	✓	(✓)		- Idem ci-dessus	- Idem ci-dessus - Nécessité de la place pour stocker/traiter les terres - Cadence pouvant être optimisée	- Idem excavation : validation du mode de gestion des eaux et du confortement requis	80% sur les composés volatils	< 1 an	Oui Sols surface (zones Nord & ouest) Sources sols (zones P2 & P3 - 0/11m)
Traitement in-situ											
Sparging / Venting (SVE)	Injection d'air pour volatiliser les polluants volatils et récupération des vapeurs via des points d'aspiration pour traitement.	Traitement des sols de la ZNS, de la ZS et de la nappe	✓	✓	✓	- Traitement adapté pour les remblais de surface (0 - 1,8 m) - Traitement efficace des volatils - Apport d'oxygène favorisant la biodégradation, possibilité d'ajout d'oxygène dans l'air injecté - Absence de gestion d'eaux - Absence d'excavations	- Traitement non adapté à la géologie du site (remblais profonds et marnes trop peu perméables) - Absence de traitement des substances non volatiles (métaux présents sur la zone) - Délais très longs dans les zones de concentrations élevées - Surfaces de traitement très étendues engendrant un grand nombre d'ouvrages	- Délimitation précise des zones impactées - Réalisation d'essais pilotes pour définir les rayons d'actions des puits	Peut atteindre 80-90%	4 - 8 ans	Non
Injection d'oxydants (ISCO), de réducteur (ISCR) ou de substrat (Bio)	Injection de réactifs/substrat détruisant les contaminants in-situ	Traitement des sols de la ZNS, de la ZS et de la nappe	✓	✓	✓	- Traitement adapté aux zones de fortes contaminations - Traitement in-situ relativement rapide - Absence d'excavations	- Inefficacité sur certaines substances présentes (métaux) et à piloter pour les autres organiques - Efficacité limitée en nappe productive - Efficacité dépendant de la nature des terrains (nature et temps de contact oxydants/contaminants) - Coût élevé des produits injectés : aléas financier important	- Délimitation précise des zones impactées - Essais d'injection pour déterminer les paramètres de l'injection (rayon d'action, débit, pression) - essais pilotes en laboratoire et in-situ pour valider l'efficacité des réactifs	50% à 70% dans de bonnes conditions	1 - 3 ans	Oui Zones de fortes concentrations dans la nappe perchée 8/11m (zones P2 & P3)
Soil Mixing + Venting	Malaxage des sols avec mise en dépression pour volatiliser/récupérer les polluants volatils puis traitement.	Traitement des sols de la ZNS, de la ZS et de la nappe	✓	✓	(✓)	- Traitement adapté aux zones de fortes contaminations - Délais de traitement courts - Absence de gestion d'eaux - Absence d'excavations	- Terrain déstructuré : moins bonnes caractéristiques géotechniques - Traitement non adapté à la géologie du site (trop peu perméable) - Coûts élevés (amené/repli, profondeur des impacts, surfaces impactées)	- Délimitation précise des zones impactées - Essais pour déterminer les paramètres du malaxage (rayon d'action, débit, pression)	30 à 70% dans de bonnes conditions	< 1 an	Non
Soil Mixing + injection (réducteur/oxydant)	Malaxage des sols avec un réducteur chimique détruisant les contaminants in-situ	Traitement des sols de la ZNS, de la ZS et de la nappe	✓	✓	✓	- Traitement adapté aux zones de fortes contaminations - Délais de traitement courts - Absence de gestion d'eaux - Absence d'excavations	- Terrain déstructuré : moins bonnes caractéristiques géotechniques - Traitement adapté à la géologie du site et à la faible productivité de la nappe perchée - Coûts élevés (amené/repli, produits, profondeur des impacts, surfaces impactées) - Coût élevé des produits injectés : aléas financier important	- Délimitation précise des zones impactées - Essais d'injection pour déterminer les paramètres du malaxage (rayon d'action, débit, pression) - Essais en laboratoire avec des produits spécifiques afin de valider l'efficacité du traitement	30 à 80% dans de bonnes conditions	< 1 an	Oui Sources sols (zones P2 & P3 - 0/11m) Zones de fortes concentrations dans la nappe perchée 8/11m (zones P2 & P3)

Technique	Description	Compartment traité	Sols ZNS	Sols ZS	Eaux sout.	Avantages	Inconvénients	Prérequis	Abatement attendu	Durée	Pré-sélection
Traitement in-situ											
Pompage et traitement (P&T)	Pompage direct de la nappe superficielle	Traitement de la nappe			✓	<ul style="list-style-type: none"> - Technique éprouvée - Peu de perturbation des sols - Traitement efficace des phases pures libre ou des fortes concentrations - Possibilité de confinement hydraulique ; protection des zones aval 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de traitement de la pollution en place : nécessité de traiter les sources sols de pollution préalablement au traitement afin de raccourcir la durée de traitement - Durée de traitement très élevée pour des seuils de dépollution bas - Coûts de traitement important pour un aquifère de grande perméabilité - Obtention d'un permis de rejet 	<ul style="list-style-type: none"> - Essais de pompage pour estimer les débits de traitement et de rejet - Analyses du potentiel de colmatage des filtres par les eaux traitées (flocs bactériens, carbonates, fer...) - Obtention d'un permis de rejet, négociation de seuils de rejet et surveillance en fonction de l'exutoire - Nécessité de bien connaître les écoulements de la nappe 	Rendement 50-60% dans les meilleures conditions	15 - 30 ans	Non
Barrière réactive (PRB)	Construction d'une barrière étanche munie d'une fenêtre remplie de média filtrant	Traitement de la nappe			✓	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement passif - Protection des zones aval 	<ul style="list-style-type: none"> - Profondeur d'ancrage (+ de 12 m pour la nappe perchée et + de 30 m pour la nappe de l'Eocène) - Pas de traitement de la pollution en place - Dimensionnement en milieu très perméable - Suivi et maintenance délicats - Contournement de la barrière possible - Problème de colmatage de la barrière - Coûts élevés de mise en place 	Validation précise des caractéristiques de la zone d'ancrage	Aucun sur site Plus de 80% à l'aval	15 - 30 ans	Non
Atténuation naturelle contrôlée (après des retrait/confinement des sources) (MNA)	Atténuation des concentrations par phénomènes hydrauliques (advection/dispersion) et biologiques. Suivi dans le temps de l'évolution des concentration	Traitement de la nappe			✓	<ul style="list-style-type: none"> - Grande efficacité dans terrains très perméables sous réserve de retrait des sources sol - Coût faible - Aucune injection de produits dans la nappe - Pas de rejets au milieu naturel 	<ul style="list-style-type: none"> - Durée importante 	<ul style="list-style-type: none"> - Retrait/confinement des sources sols - Validation de l'absence de risques sanitaires 	30 à 80% dans de bonnes conditions	5 - 15 ans	<p>Oui</p> <p>Nappe perchée (zones P2 & P3)</p> <p>Nappe Eocène (zones P2 & P3)</p>

Les solutions de gestion envisageables pour les différentes zones du site sont :

- Pour les sols de surface de la zone des remblais nord-ouest :
 - Excavation puis traitement hors-site ou sur site (désorption thermique, extraction sous vide, extraction mécanique sous tente) ;
- Pour les sols impactés au droit des deux zones sources P2 « Genevoix » et P3 « Chenil » :
 - Excavation puis traitement hors-site ou sur site (désorption thermique, extraction sous vide, extraction mécanique sous tente) ;
 - Malaxage des sols avec injection d'oxydant, de réducteur ou de substrat pour dégradation bio au niveau de la zone saturée ;
- Pour la nappe perchée des zones P2 « Genevoix » et P3 « Chenil » :
 - Injection (oxydant, réducteur ou substrat pour dégradation bio) ;
 - Suivi de l'atténuation des concentrations par phénomènes hydrauliques et physiques (dispersion/dilution/volatilisation/adsorption) et biologiques ;
- Pour la nappe de l'Eocène des zones P2 « Genevoix » et P3 « Chenil » :
 - Suivi de l'atténuation des concentrations par phénomènes hydrauliques et physiques (dispersion/dilution/volatilisation/adsorption) et biologiques, suite au traitement des zones sources.

7.5 Evaluation technico-économique des solutions proposées

Compte tenu de la pollution composite identifiée sur site, il est nécessaire d'envisager des modes de gestion combinant les différentes techniques de réhabilitation décrites ci-dessus afin de traiter au mieux la pollution telle qu'elle se présente sur les différentes zones du site. Les taux d'abattement et les concentrations résiduelles attendues pour chaque mode de gestion sont présentés dans les tableaux ci-après.

L'objectif de traitement retenu est de tendre vers les meilleurs taux d'abattement des concentrations techniquement et économiquement atteignables avec la ou les techniques sélectionnées.

Une estimation des ordres de grandeur des coûts susceptibles d'être requis pour la mise en œuvre des modes de gestion prédéfinis et des durées de traitement est présentée dans les tableaux, ci-après. Ces coûts sont issus de la documentation existante (BRGM « Quelle technique pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices » de juin 2010) et de l'expérience d'ENVIRON sur des problématiques similaires.

7.5.1 Hypothèses principales retenues pour les chiffrages

Hypothèses de base

Les hypothèses de chiffrage sont issues de la documentation existante (BRGM « Quelle technique pour quels traitements – Analyse coûts-bénéfices » de juin 2010) et de l'expérience d'ENVIRON sur des problématiques similaires. Elles sont précisées ci-après et détaillées pour chaque zone considérée dans les calculs de coûts à l'Annexe G.

Tableau 13 : Hypothèses de calcul des solutions de réhabilitation

Travaux	Unité	Valeur moyenne
Densité	g/cm ³	1,8
Confortement parois	€/m ²	650
Excavation	€/m ³	5,5
Excavation profonde	€/m ³	12
Tri des matériaux impactés	€/m ³	5
Remblais d'apport extérieur	€/t	20
Compactage/mise en oeuvre des matériaux triés	€/m ³	9
Traitement sur site - malaxage	€/t	40
Traitement de finition en fond de fouille	€/m ³	85
Sol mixing	€/m ³	160
Elimination (transport et TGAP inclus)		
ISDI	€/t	15
Biocentre/ISDND	€/t	80
ISDD	€/t	140
Incinération	€/t	400

Il n'est pas considéré d'élimination hors-site de matériaux respectant les critères définis pour les matériaux inertes (AM du 28 octobre 2010 et Charte Qualité du Métier de Stockage de Déchets de la FNADE de juillet 2004), car ils seront réutilisés sur le site. Ceci permet également de minimiser le trafic routier, sujet de préoccupation pour la commune de Romainville.

Statistiques descriptives et répartitions massiques

- Statistiques descriptives

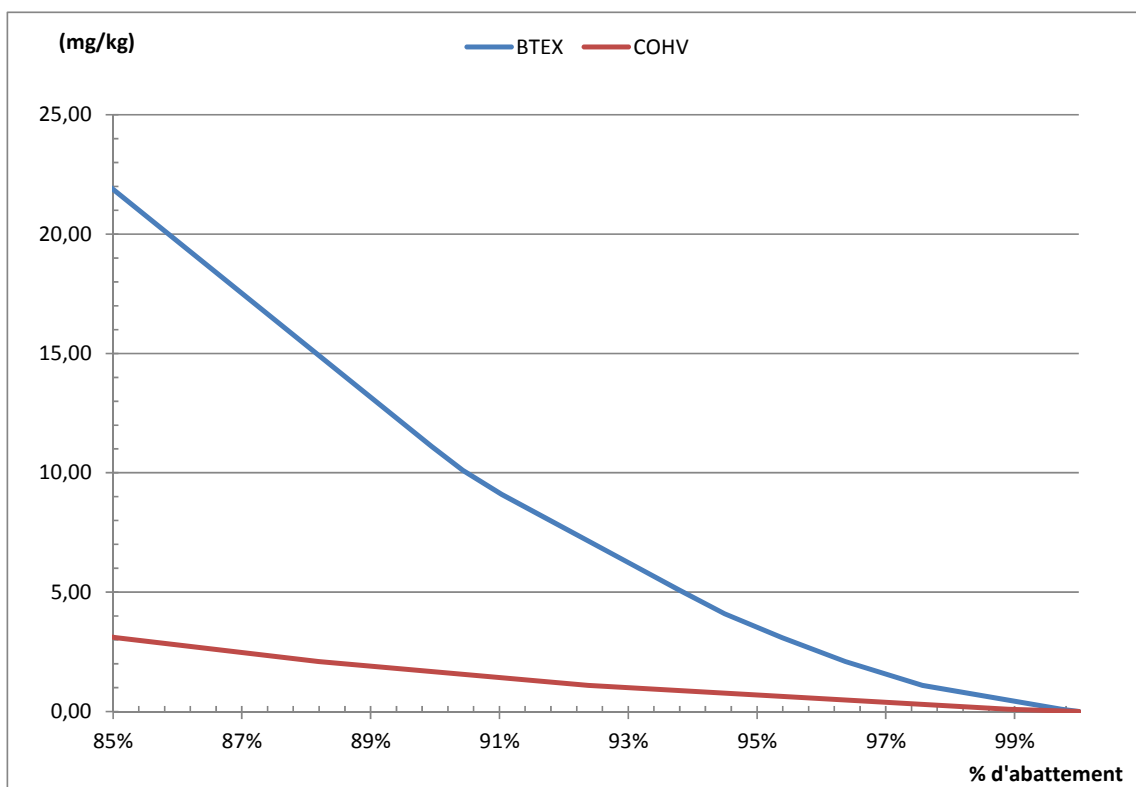
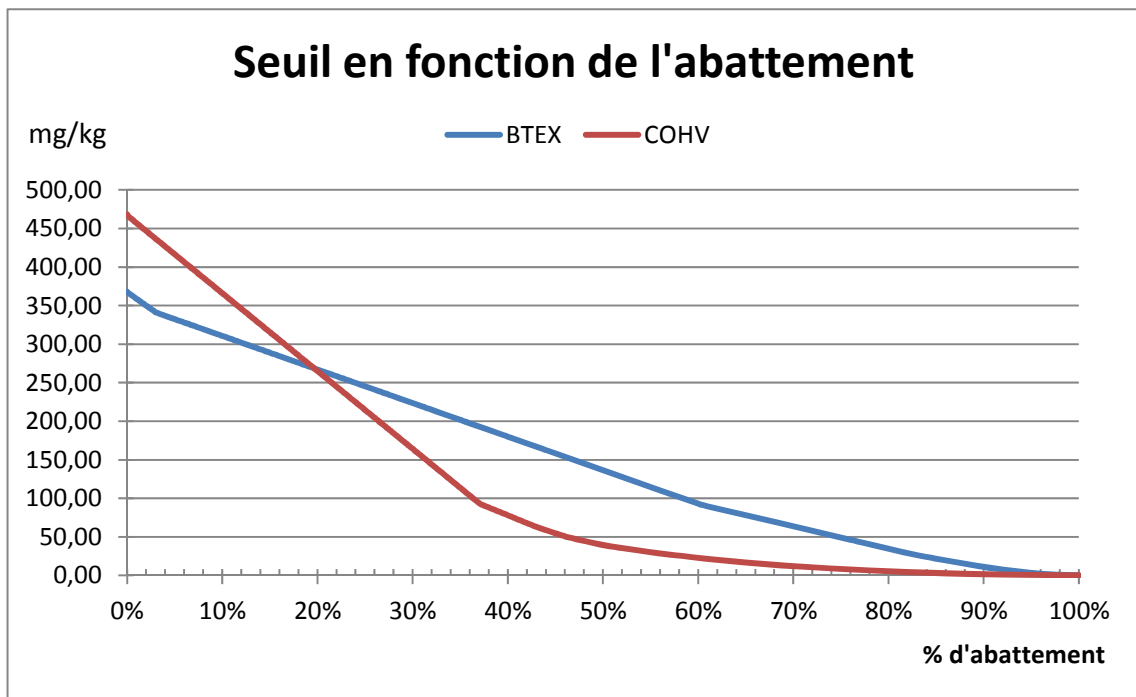
Compte tenu de la diversité des impacts et du nombre important de sondages et d'analyses réalisées, une analyse statistique des données a été effectuée. Elle a consisté en la réalisation de statistiques descriptives (nombre de points, minimum, maximum, et centiles : 25°, 50° (médiane), 75°, 95° et 99°) pour les BTEX et COHV. Ces statistiques ont été réalisées à la fois sur le jeu de données comprenant uniquement les échantillons où une détection était observée, et sur le jeu complet de données.

Les résultats de l'analyse statistique sont présentés dans leur intégralité en Annexe H.

- Répartitions massiques

En complément de l'analyse statistique, une estimation de la masse de polluant a été effectuée permettant d'évaluer la répartition de la masse en fonction de la concentration. Cette estimation est basée sur l'hypothèse d'une distribution homogène des points de sondages sur chaque zone impactée (Zones P2, P3 et nord-ouest) avec attribution à chaque sondage d'un même volume de sol impacté. Cette hypothèse est sécuritaire dans les zones les plus impactées où la densité de sondages est la plus élevée. Les hypothèses de calcul ci-dessus étant simplificatrices et sécuritaires, la masse de polluant ainsi calculée ne représente pas la masse réelle de polluants présents. C'est pourquoi, cette masse est finalement exprimée en pourcentage sur des graphiques de masse cumulée.

Les résultats de l'analyse des répartitions massiques sont présentés dans leur intégralité en Annexe H. Les résultats pour l'intégralité de la zone d'étude sont présentés dans le graphique ci-après :



Graphique 2 : Concentrations moyennes résiduelles en fonction des abattements

Taux d'abattement pour un traitement des terres sur site

Les taux d'abattement suivants ont été considérés dans le chiffrage des solutions étudiées.

Tableau 14 : Taux d'abattements et concentrations résiduelles attendus

	Composés	Taux d'abattement	Concentration moyennes des terres laissées en place	Volume de terres à traiter
Hypothèse 1	BTEX	95%	4 mg/kg	32 260 m ³
	COHV	90%	2 mg/kg	
Hypothèse 2	BTEX	97%	2 mg/kg	49 600 m ³
	COHV	93%	1 mg/kg	

Il est à noter que les seuils définis dans l'hypothèse 1 représentent des limites technico-économiques pour le traitement sur site par aération mécanique, compte-tenu des résultats des essais pilotes, des retours d'expérience d'ENVIRON pour des terrains et des composés similaires et de la consultation d'entreprises de travaux.

Dans l'éventualité où les seuils de l'hypothèse 2 étaient retenus, un volume plus important de terres devrait être traité hors site, ces seuils étant techniquement plus difficilement atteignables par aération mécanique.

Dans le cadre de l'estimation des coûts directs des modes de gestion sélectionnés et dans un souci de simplification, les mêmes proportions de terres à traiter sur site et hors site ont été retenues pour les hypothèses 1 et 2, à savoir :

- 95 % de terres traitées sur site ;
- 5 % de terres traitées hors site par incinération.

7.5.2 Estimation des coûts directs des modes de gestion sélectionnés pour les sols et les eaux souterraines

Les coûts des différents modes de gestion sont détaillés dans les tableaux ci-après.

Tableau 15 : Évaluation économique des modes de gestion – Zones nord-ouest et P2 – Métaux - Remblais

Caractéristique de la zone	Type de traitement	Caractéristique des terres après traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
Surface zone Nord-ouest : 5 000 m ² sur 0-2m et 1000 m ² sur 2-5m Surface zone P2: 2 000 m ² sur 0-2m et 3500 m ² sur 2-5m Impacts : Impacts en métaux Profondeur des impacts : 0 à 5 m Type de terrain : Remblais	<u>Excavation et élimination hors site des remblais impactés par des métaux :</u> Volume impacté excavé : - Zone Nord-ouest: 13 000 m ³ - Zone P2: 14 500 m ³ - 100% en ISDD	- 27 500 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	100%	Compris entre 7 500 000 € et 9 300 000 €	< 1 an	Non
	<u>Restriction d'usage et couverture des zones Nord-ouest et P2 :</u> Surface concernée: 18 000 m ²	- Pas de traitement mais suppression des voies d'exposition	0%	Compris entre 700 000 € et 1 000 000 €	< 1 an	Oui meilleur compromis délais, coût, efficacité

Tableau 16 : Evaluation économique des modes de gestion – Zone nord-ouest – Remblais

Hypothèse 1						
Caractéristique de la zone	Type de traitement	Caractéristique des terres après traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
Surface : 1 000m ² Impacts : COHV + impacts en métaux et ponctuellement en HAP et HCT Profondeur des impacts : 0 à 5 m Type de terrain : Remblais	<u>1- Excavation et traitement hors site :</u> Volume impacté excavé : 5 000 m ³ - 5% en incinération - 45% en ISDD - 50% en ISDND	- 5 000 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	100%	Compris entre 1 700 000 € et 2 100 000 €	< 1 an	Non
	<u>2- Excavation et traitement sur site :</u> Volume impacté excavé : 5 000 m ³ - 5% en incinération - 95% traités sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente)	- 4 750 m ³ : matériaux remis en place après traitement (respect seuils fixés : BTEX = 4 mg/kg ; COHV = 2mg/kg - Pas de traitement des métaux) - 250 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	BTEX: 95% COHV: 90%	Compris entre 950 000 € et 1 200 000 €	< 1 an	Oui meilleur compromis délais, coût, efficacité

Hypothèse 2						
Caractéristique de la zone	Type de traitement	Caractéristique des terres après traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
Surface : 2 400m ² Impacts : COHV + impacts en métaux et ponctuellement en HAP et HCT Profondeur des impacts : 0 à 5 m Type de terrain : Remblais	<u>1- Excavation et traitement hors site :</u> Volume impacté excavé : 12 000 m ³ - 5% en incinération - 45% en ISDD - 50% en ISDND	- 12 000 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	100%	Compris entre 4 000 000 € et 4 900 000 €	< 1 an	Non
	<u>2- Excavation et traitement sur site :</u> Volume impacté excavé : 12 000 m ³ - 5% en incinération - 95% traités sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente)	- 11 400 m ³ : matériaux remis en place après traitement (respect seuils fixés : BTEX = 2mg/kg ; COHV = 1mg/kg - Pas de traitement des métaux) - 600 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	BTEX: 97% COHV: 93%	Compris entre 2 300 000 € et 2 800 000 €	< 1 an	Oui meilleur compromis délais, coût, efficacité

Tableau 17 : Evaluation économique des modes de gestion – Zone P2 « Genevoix » - Sols et nappe perchée

Hypothèse 1						
Caractéristique de la zone	Type de traitement	Caractéristique des terres après traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
<p>Surface : 2 500 m² en surface; 900 m² au niveau de l'aquifère Impacts : BTEX et COHV Profondeur des impacts : 0 à 12m Type de terrain : marnes jusqu'à 9 m puis sables de Monceau jusque 12 m</p> <p>Nappe : entre 9 et 12 m Epaisseur de l'aquifère : 3 m</p>	<p><u>1- Excavation et traitement hors site :</u> Volume impacté excavé : 17 500 m³ - 5% en incinération - 45% en ISDD - 50% en ISDND</p>	- 17 500 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	100%	Compris entre 6 700 000 € et 8 200 000 €	< 1 an	Non
	<p><u>2- Excavation et traitement sur site :</u> Volume impacté excavé : 17 500 m³ - 5% en incinération - 95% traités sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente)</p>	- 16 600 m ³ : matériaux remis en place après traitement (respect seuils fixés : BTEX = 4 mg/kg; COHV = 2mg/kg - Pas de traitement des métaux) - 900 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	BTEX: 95% COHV: 90%	Compris entre 4 100 000 € et 5 000 000 €	< 1 an	Oui meilleur compromis délais, coût, efficacité
	<p><u>3- Traitement de finition fond de fouille :</u> (zone saturée)</p>	(Cf. points 1 et 2)	70% à 90%	Compris entre 330 000 € et 420 000 €	< 1 an	Oui en complément du point 2
	<p><u>4- Injection en nappe et au droit des zones non atteignables par excavation:</u> (bio, oxydant ou réducteur)</p>	(Cf. points 1 et 2)	50 à 70 %	Compris entre 200 000 € et 300 000 €	< 2 ans	Oui si nécessaire en complément du point 3
	<p><u>5- Soil mixing</u></p>	Les sols sont déstructurés. Pertes des caractéristiques géotechniques initiales.	30% à 80%	Compris entre 5 250 000 € et 6 500 000 €	< 1 an	Non

Hypothèse 2						
Caractéristique de la zone	Type de traitement	Caractéristique des terres après traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
<p>Surface : 2 700 m² en surface; 1 600 m² au niveau de l'aquifère Impacts : BTEX et COHV Profondeur des impacts : 0 à 12m Type de terrain : marnes jusqu'à 9 m puis sables de Monceau jusque 12 m</p> <p>Nappe : entre 9 et 12 m Epaisseur de l'aquifère : 3 m</p>	<p><u>1- Excavation et traitement hors site :</u> Volume impacté excavé : 26 300 m³ - 5% en incinération - 45% en ISDD - 50% en ISDND</p>	- 26 300 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	100%	Compris entre 9 700 000 € et 11 900 000 €	< 1 an	Non
	<p><u>2- Excavation et traitement sur site :</u> Volume impacté excavé : 26 300 m³ - 5% en incinération - 95% traités sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente)</p>	- 25 000 m ³ : matériaux remis en place après traitement (respect seuils fixés : BTEX = 2mg/kg; COHV = 1mg/kg) - Pas de traitement des métaux) - 1 300 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	BTEX: 97% COHV: 93%	Compris entre 5 900 000 € et 7 200 000 €	< 1 an	Oui meilleur compromis délais, coût, efficacité
	<p><u>3- Traitement de finition fond de fouille :</u> (zone saturée)</p>	(Cf. points 1 et 2)	70% à 90%	Compris entre 500 000 € et 620 000 €	< 1 an	Oui en complément du point 2
	<p><u>4- Injection en nappe et au droit des zones non atteignables par excavation:</u> (bio, oxydant ou réducteur)</p>	(Cf. points 1 et 2)	50 à 70 %	Compris entre 200 000 € et 300 000 €	< 2 ans	Oui en complément du point 3
	<p><u>5- Soil mixing</u></p>	Les sols sont déstructurés. Pertes des caractéristiques géotechniques initiales.	30% à 80%	Compris entre 5 650 000 € et 6 900 000 €	< 1 an	Non

Tableau 18 : Evaluation économique des modes de gestion – Zone P3 « Chenil » - Sols et nappe perchée

Hypothèse 1						
Caractéristique de la zone	Type de traitement	Caractéristique des terres après traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
Surface : 1 500 m ² en surface; 200 m ² au niveau de l'aquifère Impacts : COHV majoritairement, + benzène, HCT, solvants polaires Profondeur des impacts : 0 à 12 m Type de terrain : marnes jusqu'à 9 m puis sables de Monceau jusque 12 m Nappe : entre 9 et 12 m Epaisseur de l'aquifère : 3 m	<u>1- Excavation et traitement hors site :</u> Volume impacté excavé : 9 760 m ³ - 5% en incinération - 45% en ISDD - 50% en ISDND	- 9 760 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	100%	Compris entre 4 300 000 € et 5 300 000 €	< 1 an	Non
	<u>2- Excavation et traitement sur site :</u> Volume impacté excavé : 9 760 m ³ - 5% en incinération - 95% traités sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente)	- 9260 m ³ : matériaux remis en place après traitement (respect seuils BTEX = 4,3 mg/kg ; COHV = 2mg/kg - Pas de traitement des métaux) - 500 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	BTEX: 95% COHV: 90%	Compris entre 2 700 000 € et 3 400 000 €	< 1 an	Oui meilleur compromis délais, coût, efficacité
	<u>3- Traitement de finition fond de fouille (zone saturée)</u>	(Cf. points 1 et 2)	70% à 90%	Compris entre 200 000 € et 250 000 €	< 1 an	Oui en complément du point 2
	<u>4- Injection en nappe :</u> (bio, oxydant ou réducteur)	(Cf. points 1 et 2)	50 à 70 %	Compris entre 200 000 € et 300 000 €	< 2 ans	Oui en complément du point 3
	<u>5- Soil mixing</u>	Les sols sont déstructurés. Pertes des caractéristiques géotechniques initiales.	30% à 80%	Compris entre 3 200 000 € et 4 000 000 €	< 1 an	Non

Hypothèse 2						
Caractéristique de la zone	Type de traitement	Caractéristique des terres après traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
Surface : 1 500 m ² en surface; 500 m ² au niveau de l'aquifère Impacts : COHV majoritairement, + benzène, HCT, solvants polaires Profondeur des impacts : 0 à 12 m Type de terrain : marnes jusqu'à 9 m puis sables de Monceau jusque 12 m Nappe : entre 9 et 12 m Epaisseur de l'aquifère : 3 m	<u>1- Excavation et traitement hors site :</u> Volume impacté excavé : 11 300 m ³ - 5% en incinération - 45% en ISDD - 50% en ISDND	- 11 300 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	100%	Compris entre 4 900 000 € et 6 000 000 €	< 1 an	Non
	<u>2- Excavation et traitement sur site :</u> Volume impacté excavé : 11 300 m ³ - 5% en incinération - 95% traités sur site (extraction sous vide ou mécanique sous tente)	- 10 700 m ³ : matériaux remis en place après traitement (respect seuils fixés : BTEX = 2mg/kg ; COHV = 1mg/kg - Pas de traitement des métaux) - 600 m ³ : matériaux d'apport extérieur utilisés comme remblais	BTEX: 97% COHV: 93%	Compris entre 3 000 000 € et 3 800 000 €	< 1 an	Oui meilleur compromis délais, coût, efficacité
	<u>3- Traitement de finition fond de fouille (zone saturée)</u>	(Cf. points 1 et 2)	70% à 90%	Compris entre 250 000 € et 300 000 €	< 1 an	Oui en complément du point 2
	<u>4- Injection en nappe :</u> (bio, oxydant ou réducteur)	(Cf. points 1 et 2)	50 à 70 %	Compris entre 200 000 € et 300 000 €	< 2 ans	Oui en complément du point 3
	<u>5- Soil mixing</u>	Les sols sont déstructurés. Pertes des caractéristiques géotechniques initiales.	30% à 80%	Compris entre 3 200 000 € et 4 000 000 €	< 1 an	Non

Tableau 19 : Evaluation économique du suivi de la nappe perchée

Caractéristique de la zone	Type de traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
Nappe : entre 9 et 12 m Epaisseur de l'aquifère : 3 m 16 ouvrages suivis semestriellement	Surveillance environnementale	-	Compris entre 100 000 € et 150 000 €	4 ans	Oui

Tableau 20 : Evaluation économique du suivi de la nappe de l'Eocène

Caractéristiques	Type de traitement	Taux d'abattement	Coût	Délais	Solution de gestion retenue
Profondeur nappe : 20 m Epaisseur nape : 10 m 12 ouvrages suivis semestriellement	Suivi de l'atténuation naturelle	-	Compris entre 100 000 € et 150 000 €	4 ans	Oui

8 Mesures de gestion proposées

Le scénario de gestion proposé sur l'ancien CPR pour rendre les terrains des zones nord, ouest et sud compatibles avec un usage de type industriel est détaillé dans les paragraphes suivants.

Conformément à la réglementation et sur la base du schéma conceptuel du site (cf. § 6), les solutions de gestion proposées s'attachent à traiter les sources sols à un coût raisonnablement acceptable, les objectifs étant de réduire les transferts vers les eaux souterraines ainsi que les remontées de vapeurs vers les espaces extérieurs et les bâtiments. Les différentes mesures de gestion envisageables ont fait l'objet d'un bilan coûts-avantages (cf. § 7). Le présent chapitre précise les mesures de gestion retenues.

Une Analyse des Risques Résiduels prédictive valide que les solutions proposées permettent d'atteindre un niveau de risque sanitaire résiduel inférieur aux seuils réglementaires (cf. § 9) et, donc, que le scénario proposé rend le site compatible avec un usage futur de type industriel.

8.1 Mesures de gestion des impacts dans les sols

Suite au bilan coûts avantages et sur la base des limites techniques des mesures de gestion retenues et des nuisances/contraintes générées par de l'élimination hors site (ex : augmentation du trafic routier, utilisation de ressources naturelles), les objectifs de retrait des impacts sols sont fixés à 95 % pour les BTEX et 90 % pour les COHV.

Les concentrations résiduelles moyennes attendues au droit des zones traitées s'inscrivent dans celles mesurées au droit des autres zones du site à savoir :

- BTEX : 4 mg/kg ;
- COHV : 2 mg/kg.

Les sols superficiels impactés par des métaux devront être recouverts (ex : surface étanche type enrobé ou couche de terre végétale) pour éviter tout contact direct et envol de poussières. Des restrictions d'usage devront également être mises en place afin de fournir une pérennité des options de gestion en permettant à la fois d'adapter les usages à l'état des milieux et de conserver la mémoire des pollutions (impacts résiduels). Des investigations complémentaires sont prévues avant fin 2014 afin de mieux délimiter certains impacts et d'évaluer la nécessité de retirer d'éventuels « hot spots ».

8.1.1 Zone nord-ouest

Les remblais de la zone nord-ouest sont impactés par des solvants chlorés. Ces impacts sont présents jusqu'à 2 m de profondeur et, ponctuellement, jusqu'à 5 m. Les gaz du sol prélevés dans ces zones présentent de fortes concentrations en substances volatiles (en particulier le TCE).

Compte tenu de la surface concernée (1 000 m²), de la nature des polluants (substances volatiles) et de la nature des matériaux (remblais et toit des marnes), la solution de gestion recommandée est la suivante :

Retrait des sources sols

- Excavation et tri des matériaux impactés entre 0 et 5 m de profondeur ;
- Échantillonnage des bords et fond de fouille ;

- Réutilisation comme remblais sur site des matériaux présentant des concentrations en solvants chlorés compatibles avec les seuils retenus ;
- Les remblais impactés seront préférentiellement traités sur site :
 - Déstructuration des sols pour favoriser la volatilisation des polluants, soit dans un Trommel puis extraction sous vide, soit mécaniquement sous tente. Des ajouts de chaux pourront être effectués afin de se prémunir des phénomènes de remottage rencontrés avec des matériaux humides ou argileux ;
 - Récupération et traitement des gaz. Les seuils de rejets respecteront les valeurs fixées dans l'arrêté du 02/02/1998 ;
- Contrôle analytique et remise en place des matériaux (respect seuils de caractérisation des matériaux inertes pour les solvants chlorés) ;
- Les matériaux présentant de trop fortes concentrations ou assimilables à des déchets seront évacués et traités hors-site en filières agréées.

8.1.2 Zones P2 « Genevoix »

Les sols de la zone P2 « Genevoix » sont impactés par des solvants chlorés et des BTEX. Ces impacts peuvent atteindre 11/12 m de profondeur. Les gaz du sol prélevés dans ces zones présentent de fortes concentrations en substances volatiles (en particulier le TCE).

Compte tenu de la surface concernée (2 500 m²), de la profondeur des impacts, de la nature des polluants (substances volatiles) et de la nature des matériaux [remblais en surface, puis marnes (très peu perméables) et sables de Monceau], la solution de gestion recommandée est la suivante :

Retrait des sources sols et traitement de finition en fond de fouille

- Excavation, tri et traitement sur site dans les mêmes conditions que les sols de surface de la zone des remblais nord-ouest, jusque 11/12 m de profondeur (cf. § précédent).
- Les parois de fouilles seront confortées pour assurer la stabilité des terrains et le fond de fouille sera maintenu hors d'eau pour permettre les excavations ;
- Échantillonnage des bords et fond de fouille ;
- Un traitement de fond de fouille sera mis en place pour traiter les concentrations résiduelles en BTEX et solvants chlorés. Le traitement de la zone saturée et de la nappe sera réalisé par malaxage des terres situées avec ajout de persulfate de sodium et de peroxyde de calcium.

8.1.3 Zones P3 « Chenil »

Les sols de la zone P3 « Chenil » sont impactés par des solvants chlorés. Ces impacts peuvent atteindre 11/12 m de profondeur. Les gaz du sol prélevés dans ces zones présentent de fortes concentrations en substances volatiles (en particulier le TCE).

Compte tenu de la surface concernée (1 500 m²), de la profondeur des impacts, de la nature des polluants (substances volatiles) et de la nature des matériaux [remblais en surface, puis marnes (très peu perméables) et sables de Monceau], la solution de gestion recommandée est la suivante :

Retrait des sources sols et traitement de finition en fond de fouille

- Excavation, tri et traitement sur site dans les mêmes conditions que les sols de surface de la zone des remblais nord-ouest (cf. § précédent).
- Les parois de fouilles seront confortées pour assurer la stabilité des terrains et le fond de fouille sera maintenu hors d'eau pour permettre les excavations ;
- Échantillonnage des bords et fond de fouille ;
- Un traitement de fond de fouille sera mis en place pour traiter les concentrations résiduelles en BTEX et solvants chlorés (à valider par un essai de traitabilité en laboratoire avec ajout de fer zéro valent). Le traitement de la zone saturée et de la nappe en aval de la zone excavée sera réalisé par injection de lactate de sodium et d'huile émulsifiée.

Les travaux de remblaiement devront tenir compte de la construction et de l'emplacement du futur bassin de rétention des eaux incendie envisagé pour le compte de FAREVA au droit de la zone P3.

8.1.4 Gestion des impacts résiduels ou ponctuels

Les impacts résiduels ou ponctuels hors ou en bordure des zones d'excavation qui seraient identifiés au cours des travaux de réhabilitation seront gérés au travers d'une évaluation des risques sanitaires spécifique pour statuer sur le mode de gestion à mettre en œuvre :

- Risques potentiels inférieurs aux valeurs de référence : aucune réhabilitation proposée car non nécessaire ;
- Risques potentiels supérieurs aux valeurs de référence : traitement sur site ou transfert vers une zone d'usage moins sensible ou élimination en filières hors-site.

Selon les principes de développement durable détaillé au § 7.2 (minimisation de la consommation des ressources naturelles et maximisation du recyclage des terrains et des matériaux indésirables, minimisation de l'impact socio-économique), la réutilisation sur le site des matériaux excavés compatibles avec l'usage futur est privilégiée.

Cette démarche respecte la directive européenne n°2008/98/CE du 19 novembre 2008 relative aux déchets, le Plan d'actions déchets élaboré en 2009 suite au Grenelle de l'Environnement²² et les principes de réutilisation (article L.541-1 du Code de l'Environnement) à mettre en œuvre en priorité par rapport à la valorisation ou à l'élimination selon l'article L.541-2 du Code de l'Environnement. Ces éléments sont précisés dans la circulaire du 24 décembre 2010 qui stipule que les terres excavées et réutilisées sur place ne doivent pas être considérées comme des déchets et que leur utilisation sur le site même de leur excavation ne peut donc être qualifiée d'opération de stockage de déchets.

8.2 Mesures de gestion des impacts dans les gaz du sol

Les solutions de réhabilitations auront un effet immédiat sur les anomalies identifiées dans les gaz du sol (principalement BTEX et solvants chlorés) au niveau des zones P2

²² MEEDD (2009) Plan d'action déchets 2009-2012 – 9 septembre 2009

« Genevoix » et P3 « Chenil ». Les impacts résiduels dans les gaz du sol, si existants, pourraient provenir des faibles concentrations en polluants laissées potentiellement dans les sols et du dégazage de la nappe perchée.

La solution de gestion recommandée pour gérer les zones d'impacts résiduels dans les gaz du sol est la suivante :

1 - Surveillance de la qualité des gaz du sol au droit et en aval des zones impactées afin de documenter l'évolution des concentrations en substances dans ce milieu.

Cette surveillance sera effectuée au sein de 15 ouvrages dont l'implantation est fournie en Figure 42. L'objectif de ce réseau est de documenter la qualité des gaz de sol au droit du site. Parmi ces ouvrages, 6 à 8 seront à réinstaller car situés au droit des zones d'excavation.

Les paramètres suivis comprendront : BTEX, COHV. Ce suivi sera réalisé à l'occasion de 3 campagnes de prélèvement échelonnées sur une période de 6 mois à 1 an.

8.3 Mesures de gestion des impacts dans la nappe perchée

Les solutions de réhabilitations retenues comprennent le traitement des sols et des eaux souterraines de la nappe perchée par retrait des sols fortement impactés et traitement de finition de la zone saturée.

Les anomalies identifiées dans la nappe perchée (principalement BTEX et solvants chlorés) au niveau des zones P2 « Genevoix » et P3 « Chenil » devraient donc sensiblement diminuer au droit et en aval hydraulique de ces zones. Ces anomalies s'étendent hors-site mais aucun usage de cette nappe n'est identifié dans le voisinage du site (cf. § 3) et il n'y a pas transfert possible vers les eaux du canal de l'Ourcq (au niveau du site, la charge hydraulique du canal est plus élevée que celle de la nappe).

La solution de gestion recommandée pour traiter les zones d'impacts résiduels dans les eaux de la nappe perchée est la suivante :

1 – Mise en place d'un réseau de pointes d'injection :

Un réseau de pointes d'injection sera installé au droit des zones P2 « Genevoix » (si nécessaire) et P3 « Chenil ». Plus précisément, ces pointes seront installées au droit et en périphérie des zones impactées afin de permettre l'injection de réducteur/oxydant/substrat (pour favoriser la dégradation biologique) directement dans les formations aquifères pour favoriser la dégradation de polluants. Cette technique sera mise en œuvre suite aux retraits des sources de pollution et aux traitements des sols de la zone aquifère afin de traiter également les panaches de pollution dans la nappe perchée (substances s'étant dispersées depuis les sources de pollution).

2 - Surveillance de la qualité des eaux de la nappe perchée dans le cadre d'un bilan quadriennal au droit et en aval des zones traitées afin de documenter l'évolution des concentrations en substances dans les eaux souterraines. Cette surveillance permettra de quantifier les effets des travaux de retrait de source sol et de suivre la décroissance des concentrations dans la nappe (épuisement de la source et dégradation naturelle).

Cette surveillance sera effectuée au sein de 16 ouvrages dont l'implantation prévisionnelle est fournie en Figure 40²³. Cette surveillance permettra de documenter et suivre l'évolution de la qualité des eaux souterraines en amont, en aval et au droit des zones traitées, et plus particulièrement :

- En amont : évaluation du bruit de fond ;
- Au droit et en aval : évaluation de la stabilité du panache résiduel dans sa longueur ;
- En latéral : évaluation de la stabilité du panache résiduel dans sa largeur ;
- En aval éloigné (piézomètres « sentinelles ») : vérification du confinement des impacts résiduels.

Parmi ces ouvrages, 6 seront à installer ou réinstaller car situés au droit des zones d'excavation.

Il est rappelé qu'aucune autorisation n'a été accordée à SANOFI pour implanter des ouvrages captant la nappe perchée à l'ouest des ouvrages P21 bis, P30 bis et P40 bis et ainsi délimiter plus précisément l'extension de la pollution hors-site.

Outre les paramètres physico-chimiques (pH, T°C, Conductivité, potentiel Redox et oxygène dissous), les paramètres suivis comprendront : métaux, BTEX, COHV, méthane, éthane, éthylène, acétone et alcool isopropylique.

Les travaux projetés au droit du site (excavation/traitement des sources sols) s'inscrivent dans une démarche de retrait de source primaire. A ces travaux s'ajoute le retrait complémentaire d'une masse de polluant dans la nappe estimé entre 50 % et 70 %, via des traitements de fond de fouilles et des injections.

Aucun seuil de référence n'est défini pour la qualité des eaux de la nappe perchée au droit du site étant donné :

- L'absence d'usage de l'eau au droit du site et dans son voisinage immédiat ;
- L'absence de risque lié aux potentielles remontées de substances volatiles depuis la nappe vers la surface du sol.

8.4 Mesures de gestion des impacts dans la nappe de l'Eocène

Les eaux de la nappe de l'Eocène présentent des anomalies de concentrations en solvants chlorés au droit et en aval hydraulique des zones P2 « Genevoix » et P3 « Chenil ». Les anomalies identifiées dans la nappe de l'Eocène sont principalement limitées à l'emprise du site, avec peu de transfert hors-site. Aucun usage de cette nappe n'est identifié dans le voisinage du site (cf. § 3) et il n'y a pas transfert possible vers les eaux du canal de l'Ourcq.

Les sources sols identifiées au niveau des zones P2 « Genevoix » et P3 « Chenil » seront traitées. Les impacts résiduels mesurés dans la nappe perchée seront également traités par malaxage des terres en présence de réactifs en fond de fouille (zone saturée) et, si

²³ Il convient de noter qu'en fonction de potentiels réaménagements hors site, la pérennité des piézomètres P31bis, P32bis et P33bis n'est pas garantie.

nécessaire, via un réseau de pointes d'injection en zone source et sa périphérie (cf. paragraphes précédents).

L'ensemble des sources (primaires et résiduelles jusqu'à 11/12 m de profondeur) sera donc traité par les solutions de gestion présentées précédemment. Les concentrations résiduelles encore présentes jusqu'à 11/12 m de profondeur sont naturellement isolées de la nappe de l'éocène par une formation marneuse peu perméable, limitant tout transfert vertical. La nappe de l'Eocène est donc relativement bien protégée.

Par ailleurs, tous les piézomètres qui pouvaient créer des voies de transfert privilégiées entre la nappe perchée et la nappe de l'Eocène ont été rebouchés et re-forés en double casing (pour isoler les deux nappes). Les premiers résultats obtenus suite à ces reforages révèlent une amélioration sensible de la qualité de cette nappe.

Compte tenu de ces éléments, la solution de gestion recommandée pour la nappe de l'Eocène est la suivante :

Surveillance de la qualité des eaux de la nappe de l'Eocène dans le cadre d'un bilan quadriennal au droit et en aval du site afin de documenter l'évolution des concentrations en substances dans les eaux souterraines. Cette surveillance permettra de quantifier les effets des travaux de réhabilitation effectués et de suivre la décroissance des concentrations dans la nappe (épuisement de la source et dégradation naturelle).

Cette surveillance sera effectuée au sein de 12 ouvrages dont l'implantation est fournie en Figure 41²⁴. L'objectif de ce réseau est de documenter et suivre l'évolution de la qualité des eaux en amont, en aval et au droit des zones traitées. Parmi ces ouvrages, 4 seront à installer ou réinstaller car situés au droit des zones d'excavation.

Il est rappelé qu'aucune autorisation n'a été accordée à SANOFI pour implanter des ouvrages captant la nappe de l'Eocène à l'ouest des ouvrages P21, P22 et P25 et ainsi délimiter plus précisément l'extension de la pollution hors-site.

Outre les paramètres physico-chimiques classiques (pH, T°C, Conductivité, potentiel Redox et oxygène dissous), les paramètres suivis comprendront à minima : métaux, BTEX, COHV, méthane, éthane, éthylène, acétone et alcool isopropylique.

Aucun seuil de référence n'est défini pour la qualité des eaux de la nappe de l'Eocène au droit du site étant donné :

- L'absence d'usage de l'eau au droit du site et dans son voisinage immédiat ;
- L'absence de risque lié aux potentielles remontées de substances volatiles depuis la nappe vers la surface du sol.

8.5 Solutions de contrôle des expositions

Les dispositions réglementaires en vigueur permettent d'adapter les usages possibles des milieux en fonction de leur état, sans obligatoirement donner lieu à une dépollution. Le contrôle des expositions rentre dans ce cadre et s'axe selon deux composantes :

²⁴ Il convient de noter qu'en fonction des réaménagements potentiels hors site, la pérennité des ouvrages P25 et P26 n'est pas garantie.

1. l'inactivation des voies de transferts ;
2. la mise en place de restrictions d'usage.

Elles pourront être mises en place sur les zones où il subsisterait un risque après réhabilitation résultant d'une modification a posteriori du projet d'aménagement ou plus généralement pour fournir une pérennité des options de gestion en permettant à la fois d'adapter les usages à l'état des milieux et de conserver la mémoire des pollutions.

Ces mesures sont détaillées dans la section 10.

8.6 Gestion des nuisances

Au cours des travaux de réhabilitation, les nuisances sonores et les émissions de poussières seront limitées comme suit (exemples de solutions de gestion des nuisances, à adapter en fonction de la solution technique qui sera mise en œuvre) :

- Adaptation des horaires de travail au voisinage (7h30 à 18h30 du lundi au vendredi) ;
- Emploi d'engins produisant un niveau sonore de 85 dB maximum ;
- Installation d'un système de brumisation avec neutralisant d'odeurs pour limiter les émissions de poussières et les odeurs ;
- Traitement des matériaux sous tente, avec traitement des vapeurs ;
- Couverture des matériaux excavés pour limiter les envols et odeurs ;
- Limitations des éliminations des matériaux excavés hors-site afin de limiter les entrées/sorties de camions ;
- Mise en place de dispositifs de suivi des odeurs et d'envol des poussières.

Au niveau des zones principales d'intervention, aucune habitation n'est présente dans le voisinage immédiat du site. L'impact des nuisances générées par les travaux sera donc limité.

8.7 Estimation financière de mise en œuvre des mesures de gestion

Des solutions de retrait de sources sont retenues par SANOFI CHIMIE afin de traiter les sources sols identifiées au droit du site. Ce choix permet de garantir un traitement rapide et localisé de ces sources pour un coût acceptable. L'objectif de SANOFI CHIMIE est le retrait d'environ 90 % en masse des polluants identifiés dans ces zones.

Tableau 21 : Synthèse des coûts des mesures de gestion envisagées

Sols	Mode de gestion	Taux d'abattement	Délai	Coût
Zones nord-ouest et P2				
Sols de surface	Restriction d'usage et couverture	0%	< 1 an	Compris entre 700 000 € et 1 000 000 €
Zone nord-ouest				
Sols de surface (0 - 2 à 5 m)	- Excavation et traitement sur site (extraction sous svide ou mécanique sous tente) - Remblaiement avec matériaux traités	BTEX: 95% COHV: 90%	< 1 an	Compris entre 950 000 € et 1 200 000 €
P2 Genevoix				
Sols (0 - 11/12 m)	- Excavation et traitement sur site (extraction sous svide ou mécanique sous tente) - Remblaiement avec matériaux traités	BTEX: 95% COHV: 90%	< 1 an	Compris entre 4 100 000 € et 5 000 000 €
Zone saturée et nappe	- Malaxage des terres avec ajout de persulfate de sodium et de peroxyde de calcium	70% à 90%	< 1 an	Compris entre 330 000 € et 420 000 €
Nappe	- Injection de persulfate de sodium et de peroxyde de calcium	50 à 70 %	< 2 ans	Compris entre 200 000 € et 300 000 €
P3 Chenil				
Sols (0 - 11/12 m)	- Excavation et traitement sur site (extraction sous svide ou mécanique sous tente) - Remblaiement avec matériaux traités	BTEX: 95% COHV: 90%	< 1 an	Compris entre 2 700 000 € et 3 400 000 €
Zone saturée et nappe	- Malaxage des terres avec ajout de lactate de sodium et d'huile émulsifiée	70% à 90%	< 1 an	Compris entre 200 000 € et 250 000 €
Nappe	- Injection de lactate de sodium et d'huile émulsifiée	50 à 70 %	< 2 ans	Compris entre 200 000 € et 300 000 €
Eaux souterraines				
Nappe perchée - Zones P2 Genevoix et P3 Chenil et leur aval				
Aval des zones traitées	- Surveillance environnementale	-	4 ans	Compris entre 100 000 € et 150 000 €
Nappe de l'Eocène - Zones P2 Genevoix et P3 Chenil et leur aval				
Aval des zones traitées	- Atténuation naturelle	30% à 80%	4 ans	Compris entre 100 000 € et 150 000 €

Le coût total de la combinaison de solutions de gestion proposées pour réhabiliter le CPR est compris entre 9,5 M € et 12 M €, auquel s'ajoutent les coûts liés aux investigations et pilotes préalables (soit environ 1 M €).

8.8 Échéancier

L'échéancier prévisionnel suivant est actuellement visé pour la mise en œuvre du scénario de gestion retenu par SANOFI CHIMIE, en supposant l'émission d'un arrêté préfectoral encadrant les travaux de réhabilitation au début du 4^{ème} trimestre 2014 :

- 4^{ème} trimestre 2014 et 1^{er} trimestre 2015 : Zone P3 « Chenil » - Excavation et traitement des sols ; traitement de la zone saturée et de la nappe perchée ;
- 1^{er} et 2^{ème} trimestres 2015 : Zone P2 « Genevoix » - Excavation et traitement des sols ; traitement de la zone saturée et de la nappe perchée ;
- 3^{ème} trimestre 2015 : Excavation et traitement des sols au niveau de la zone des remblais nord-ouest ;
- 2015 – 2018 : 4 années de suivi de la qualité des eaux souterraines (nappe perchée et nappe de l'Eocène) dans le cadre d'un bilan quadriennal.

9 Analyse prédictive des Risques Résiduels et Interprétation de l'état des milieux

Conformément à la méthodologie de gestion des Sites et Sols Pollués²⁵, ont été réalisées :

- Une Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive ;
- Une interprétation de l'état des milieux (IEM).
-

L'ARR a été réalisée sur site afin de valider la compatibilité des usages prévus sur le site avec son état résiduel après la mise en œuvre des mesures de gestion proposées. Cette analyse des risques est dite « prédictive » car elle est basée sur les concentrations résiduelles dans les sols et les eaux souterraines anticipées a priori sur le site après la mise en place de ces mesures

L'IEM a été réalisée sur la base des impacts actuels constatés hors-site afin d'évaluer l'exposition des récepteurs identifiés.

Les niveaux de risques réels seront évalués après la mise en place des mesures de gestion à partir des concentrations réellement mesurées, en particulier dans les gaz du sol en fin de travaux. Ces résultats seront consolidés par une Analyse de Risques Résiduels finale qui devra confirmer la compatibilité des risques avec les seuils réglementaires. À défaut, des mesures de gestion complémentaires devront être mises en place et une nouvelle validation de la compatibilité des risques résiduels sera requise.

9.1 Méthodologie

L'ARR prédictive et l'IEM pour les substances présentes dans les sols et les eaux souterraines ont été réalisées en prenant en considération les recommandations du Ministère en charge de l'Environnement. La méthodologie générale utilisée et les résultats sont présentés dans les paragraphes suivants.

La méthodologie employée a comporté les étapes suivantes :

- Étape 1 - collecte des données : caractérisation du site et identification des dangers potentiels ;
- Étape 2 - évaluation de la toxicité des substances : estimation de la relation entre la dose ou le niveau d'exposition à une substance, et l'incidence et la gravité de cette exposition sur la santé humaine ;
- Étape 3 - évaluation de l'exposition : détermination des voies de transfert du polluant depuis la source vers l'être humain, et estimation de la fréquence, la durée et l'intensité de l'exposition ;

²⁵ Recommandations du Ministère de l'Environnement datant du 8 février 2007 - « Circulaire relative aux Installations Classées. Prévention de la pollution des sols. Gestion des sols pollués ».

- Étape 4 - caractérisation des risques : synthèse des informations issues de l'évaluation de l'exposition et de l'évaluation de la toxicité sous la forme d'une expression quantitative du risque. Le niveau de risque est formalisé au moyen d'indicateurs quantitatifs définis dans les documents de référence du Ministère en charge de l'Environnement. Une évaluation des incertitudes a également été réalisée.

9.2 Scénario considéré

Le schéma conceptuel envisagé se compose d'un scénario principal d'exposition sur site :

- Scénario « industriel », avec présence de bâtiments industriels : exposition prolongée d'employés (adultes) à l'intérieur de bâtiments industriels et brève en extérieur (voirie, espaces verts, parking) ;
- En l'absence de données détaillées sur les modalités et les détails de construction des futurs bâtiments industriels, il est retenu en première approche que les bâtiments ne comprennent aucun niveau de parkings souterrains, ni de vides sanitaires ou galeries techniques enterrées.

Ce scénario est complété, hors-site, par la prise en compte des usages actuellement constatés (prise en compte de l'usage le plus sensible) :

- Usage « résidentiel » hors-site, avec présence de logements : exposition prolongée d'enfants et d'adultes à l'intérieur des logements et brève en extérieur (voirie, espaces verts, parking) – scénario majorant, compte tenu du voisinage du site décrit § 2 ;
- Hors-site, il est retenu en première approche que les bâtiments ne comprennent aucun niveau de parkings souterrains, ni de vides sanitaires.

9.3 Schéma conceptuel actualisé

Le schéma conceptuel du site a été présenté dans ses grandes lignes dans la section 6. Il est actualisé et développé dans le détail ci-dessous.

Le schéma conceptuel du site permet de « visualiser » l'ensemble de la démarche ainsi que les principaux éléments pris en compte pour l'évaluation des risques et sa traduction pour le cas spécifique du site. Le schéma conceptuel du site est fondé sur un inventaire des liens « source – vecteur – cible » susceptibles d'exister et comprenant :

- La caractérisation du terme « source » par quantification des teneurs des substances identifiées ;
- L'identification des cibles potentielles ; et,
- L'identification des vecteurs, voies de transferts possibles entre les sources et les cibles potentielles.

La Figure 39 présente le schéma conceptuel du site actualisé après travaux.

9.3.1 Sources

Les sources potentielles d'impact sur le site (scénario industriel) sont constituées :

- De sols présentant jusqu'en profondeur des concentrations résiduelles de pollution ;
- Des eaux souterraines présentant des concentrations résiduelles de pollution après traitement et/ou atténuation naturelle.

Comme le recommande la méthodologie nationale, les calculs de risques de l'ARR finale seront réalisés à partir de mesures directes minimisant le recours à des calculs/modélisations. Ainsi, les estimations de niveaux de risques seront établies à partir de concentrations mesurées dans les gaz du sol permettant l'intégration des contributions des concentrations résiduelles en substances présentes dans les sols et les eaux souterraines.

Dans le cadre du PGS, l'ARR prédictive a été réalisée à partir des concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol au droit des zones non impactées du site (hypothèse sécuritaire car ne tient pas compte des variations saisonnières mesurées et considère que les individus sont exposés en permanence aux concentrations maximales toutes substances confondues et en tout lieu du site).

Dans le cadre de l'IEM, les sources potentielles d'impact hors-site (usage résidentiel) sont constituées :

- Des eaux souterraines de la nappe perchée présentant des concentrations résiduelles de pollution.

La méthodologie suivie sur site (détaillée ci-dessus) est appliquée hors-site. Ainsi, l'IEM a été réalisée à partir des concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol hors-site.

Les concentrations retenues pour les différents scénarios sont présentées dans les tableaux ci-dessous et en Annexe J, elles correspondent aux concentrations maximales (hors zones impactées) analysées au cours des sept campagnes de prélèvement de gaz du sol réalisées entre 2010 et 2013.

Tableau 22 : Concentrations retenues – Scénario industriel

Substance	Concentration maximale (mg/m3)
1, 1 - DICHLOROETHANE	0,002
1, 1 - DICHLOROETHYLENE	0,007
1, 1, 1 - TRICHLOROETHANE	0,01
1, 2 - DICHLOROETHANE	0,06
1, 2 - DICHLOROPROPANE	0,1
BENZENE	0,08
C10-C12 aliphatique	2
C10-C12 aromatique	0,1
C12-C16 aliphatique	0,3
C5-C6 aliphatique	0,6
C6-C7 aromatique	0,2
C6-C8 aliphatique	0,2
C7-C8 aromatique	0,3
C8-C10 aliphatique	1
C8-C10 aromatique	0,7
CHLOROFORME	9
cis 1,2-Dichloroéthylène	0,7
ETHYLBENZENE	0,06
m, p - XYLENE	0,2
o - XYLENE	0,08
TETRACHLOROETHYLENE	2
TETRACHLORURE DE CARBONE	0,1
TOLUENE	0,3
trans 1,2-Dichloroéthylène	0,07
TRICHLOROETHYLENE	15

Tableau 23 : Concentrations retenues – Scénario résidentiel – Hors-site

Substance	Concentration maximale (mg/m3)
C6-C8 aliphatique	0,06
C7-C8 aromatique	0,04
C8-C10 aliphatique	0,02
C8-C10 aromatique	0,01
o - XYLENE	0,003

9.3.2 Voies d'exposition

Deux milieux sont considérés, l'intérieur des bâtiments et les zones extérieures. Les différents mécanismes et voies d'exposition potentiels retenus pour chaque milieu et chaque scénario de gestion sont synthétisés dans le schéma conceptuel présenté en Figure 39 et résumés ci-dessous :

- La prise en compte de l'inhalation de vapeurs issues des sols et des eaux souterraines impactés par des substances volatiles, intervenant aussi bien en extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments ;
- L'inhalation de poussières et l'ingestion involontaire de sols de surface impactés, intervenant à l'extérieur sur les zones non recouvertes (espaces verts), sont des voies qui ne sont pas retenues. Dans le cadre de l'usage futur, les sols seront imperméabilisés ou une couche de terre saine sera utilisée en recouvrement des sols du site pour neutraliser ces voies potentielles de transfert ;

- Compte tenu des usages constatés dans le voisinage du site (cf. 3), l'ingestion d'eaux souterraines impactées (à partir d'un puits privé) et l'ingestion de végétaux autoproduits irrigués par de l'eau souterraine impactée et/ou cultivés sur des sols impactés ne sont pas des voies d'exposition retenues.

9.3.3 Cibles

Les individus « récepteurs » pris en compte sont :

- Les futurs employés du site « industriel » (adultes) ;
- Les habitants au voisinage du site (enfants et adultes).

9.3.4 Synthèse

Le schéma conceptuel est représenté graphiquement sur les Figures 38 et Figure 39.

9.4 Paramètres retenus pour les calculs

9.4.1 Hypothèses principales

Les points suivants peuvent être notés :

- Toutes les substances détectées dans les gaz du sol ont été prises en compte pour les calculs ;
- Le mercure volatil a été recherché dans les échantillons de gaz du sol prélevés en novembre 2010. Les résultats obtenus ont mis en évidence la non volatilisation du mercure ;
- Sur site et hors-site, les calculs prédictifs de risques résiduels ont été réalisés en considérant les concentrations maximales mesurées dans les gaz du sol hors zones impactées;
- Dans une approche sécuritaire, les risques liés à toutes les expositions considérées en un point donné, et pour toutes substances présentes, ont été directement additionnés sans tenir compte du mode d'action de ces substances (principe d'additivité des risques).

9.4.2 Caractéristiques des sources

Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques des substances retenues rendent compte de leur volatilité, de leur potentiel de migration et d'adsorption. En l'absence de bases de données spécifiques à la France, la littérature et les bases de données internationales ont été consultées. Les paramètres physico-chimiques qui ont été utilisés dans les calculs sont synthétisés avec leurs références dans l'Annexe K.

Paramètres toxicologiques

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) des substances qui ont été utilisées dans les calculs sont présentées en Annexe L. Les VTR ont été sélectionnées selon la méthodologie rappelée dans l'Annexe I.

La synthèse des différentes VTR disponibles dans la littérature et les justifications des choix de VTR réalisés sont présentées en Annexe L.

9.4.3 Caractéristiques des récepteurs

Les paramètres d'exposition humaine utilisés pour les récepteurs sont détaillés dans le Tableau 24 ci-après.

Les données spécifiques à la population française ont été retenues en priorité lorsqu'elles étaient disponibles. Elles sont principalement issues de la base de données statistiques CIBLEX (recommandée par le Ministère de l'Environnement) qui compile, par département, les paramètres descriptifs de la population française (âge, sexe, poids, consommations alimentaires...) en fonction de l'occupation des sols et de l'usage type (résidentiel, professionnel, récréatif, ...) des zones potentiellement concernées par la pollution d'un site.

Les taux d'ingestion de sols utilisés sont ceux retenus dans les feuilles de calcul de l'IEM (Inventaire de l'État des Milieux) du Ministère de l'Environnement. Ces valeurs correspondent aux valeurs les plus couramment retenues dans les modèles d'exposition à travers le monde qui sont considérés comme sécuritaires²⁶.

Les fréquences d'exposition retenues sont les suivantes :

- **Scénario « industriel »** : les employés sont présents sur site 220 jours par an, 8 heures par jour à l'intérieur et 1 heure à l'extérieur, ce qui correspond à l'exposition associée à un poste à temps plein ;
- **Usage « résidentiel hors-site »** : enfants et adultes sont présents 365 jours par an, 20 heures par jour à l'intérieur et 4 heures à l'extérieur.

La durée d'exposition retenue est de 30 ans. Ce temps de résidence de 30 ans est celui préconisé par l'INERIS²⁷, et également celui retenu par l'OEHHA²⁸. Il correspond au 90^{ème} percentile des temps de résidence constatés pour la France²⁹.

²⁶ Jacquet (2007). Quantité de sol ingérée recommandée pour un enfant : un choix trop conservateur ? Thèse. Université de Paris 5.

²⁷ INERIS (2003) Évaluation des Risques Sanitaires dans les Études d'Impact des ICPE.

²⁸ OEHHA (2003) Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment Guidelines, The Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments, California Environmental Protection Agency, Secretary for Environmental Protection, Office of Environmental Health Hazard Assessment

²⁹ Nedellec et al (1998) Courgeau D, Empereur-Bissonnet P. La durée de résidence des Français et l'évaluation des risques liés aux sols pollués. *Energies Santé*. 1998;4(9):503-515.

Tableau 24 : Caractéristiques des récepteurs

Paramètres	Notation	Employé	Ref	Enfant	Ref	Adulte	Ref
Paramètres d'exposition générale							
Poids corporel (kg)	BW	67,3	☑ (1)	17,4	☑ (1)	67,3	☑ (1)
Durée d'une vie (jours)	L	25550	☑ (1)	25550	☑ (1)	25550	☑ (1)
Durée d'exposition (ans/durée de vie)	ED	30	☑ (1)	6	☑ (1)	24	☑ (1)
Fréquence d'exposition - inhalation de vapeurs (jours/an)	EFinh	220	☑ (1)	365	☑ (1)	365	☑ (1)
Inhalation de poussières ou de vapeurs							
Fraction du temps passé sur le site à l'extérieur (%)	t _{o out}	4%	(ssi)	17%	(ssi)	17%	(ssi)
Fraction du temps passé sur le site à l'intérieur (%)	t _{o in}	33%	(ssi)	83%	(ssi)	83%	(ssi)

References

- ☑ (1) Ministère en charge de l'environnement
- (ssi) Spécifique au site

9.4.4 Caractéristiques des vecteurs : émissions et transferts de vapeurs

Les transferts de vapeurs ont été modélisés en appliquant le modèle de Johnson & Ettinger. La saturation est déterminée à partir des paramètres physico-chimiques des substances et des caractéristiques spécifiques du site en utilisant la loi de Raoult en cas de saturation des gaz du sol (en présence de phases libres) et la loi de Henry sinon. Les transferts et l'accumulation ou la dispersion des vapeurs dépendent principalement de la géologie du site et des caractéristiques du lieu d'exposition des récepteurs (dimensions des bâtiments et de la boîte de dilution).

NB : La loi de Raoult permet de définir comme plafond la concentration à laquelle de la phase pure est observée pour chaque substance. Toute concentration supérieure à cette valeur seuil n'entraînera donc pas d'augmentation linéaire du risque calculé.

Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques

Les principales caractéristiques géologiques et hydrogéologiques nécessaires à la modélisation sont détaillées dans le Tableau 25. Elles sont tirées des observations réalisées sur le terrain (nature du sol) ou de données types recommandées dans les notices d'utilisation du modèle Johnson & Ettinger de l'US EPA.

Les sols au droit du site sont principalement constitués de remblais divers, marnes et sables. La classification de « sable limoneux » selon Johnson & Ettinger a été retenue pour les calculs de risques car c'est la plus proche de la nature des sols en place (remblais) ; c'est également la plus contraignante en termes de transfert de vapeur vers la surface.

La profondeur de la nappe superficielle est en moyenne de 9 m. Les épaisseurs de la zone vadose et de la zone saturée tabulées par l'US EPA dans la notice d'utilisation du modèle Johnson & Ettinger ont été employées.

Caractéristiques des bâtiments

Les caractéristiques des bâtiments nécessaires à la modélisation des transferts de vapeurs en intérieur sont détaillées dans le Tableau 25. Les données retenues correspondent à des bâtiments de type bâtiment industriel sur site ou résidentiel collectif hors-site. Le renouvellement de l'air intérieur est d'un volume par heure.

Caractéristiques de la boîte de dilution

Les caractéristiques de la boîte de dilution nécessaires à la modélisation des transferts de vapeurs en extérieur sont détaillées dans le Tableau 25.

Tableau 25 : Paramètres utilisés dans les calculs d'émissions et de transferts de vapeurs

Paramètres	Notation	Scénario industriel	Ref	Scénario résidentiel	Ref
Boîte de dilution de l'air à l'extérieur					
Hauteur de la boîte de dilution (cm)	d_{air}	200	█ (1)	200	█ (1)
Vitesse du vent (cm/sec)	U_{air}	225	█ (1)	225	█ (1)
Longueur de la zone source parallèle à la direction du vent (cm)	W	5000	(ssi)	5000	(ssi)
Paramètres d'émission de poussières					
Taux d'émission de poussières à partir du sols (g/cm ² .sec)	Pe	6,90E-14	█ (1)	6,90E-14	█ (1)
Fraction de poussières à l'intérieur du bâtiment provenant de l'extérieur		50%	(ssi)	50%	(ssi)
Paramètres du bâtiment					
Taux de renouvellement de l'air (sec ⁻¹)	ER	0,000277778	(1, ssi)	0,000277778	(1, ssi)
Hauteur du plafond du bâtiment (cm)	L_b	250	(ssi)	250	(ssi)
Longueur du bâtiment (cm)		2000	(ssi)	2000	(ssi)
Largeur du bâtiment (cm)		1000	(ssi)	1000	(ssi)
Superficie du bâtiment (cm ²)	Ab	2,0E+06	(ssi)	2,0E+06	(ssi)
Perimètre du bâtiment (cm)	Xcrack	6,0E+03	(ssi)	6,0E+03	(ssi)
Fraction de fissures dans les fondations (-)	η	0,1%	█ (2)	0,1%	█ (2)
Fraction d'air contenu dans les fissures des fondations (-)	θ_{acrack}	31%	(ssi)	31%	(ssi)
Fraction d'eau contenu dans les fissures des fondations (-)	θ_{wcrack}	8%	(ssi)	8%	(ssi)
Différentiel de pression (g/cm ² .s)	δP	2,00E+01	█ (2)	2,00E+01	█ (2)
Viscosité de l'air (g/cm.s)	μ_{air}	0,000175	(ssi)	0,000175	(ssi)
Profondeur de la fissure / épaisseur de la dalle (cm)	L_{crack}	15	(ssi)	15	(ssi)
Type et profondeurs de sol					
Texture de sol selon Johnson & Ettinger		Loamy Sand		Loamy Sand	
Profondeur des sols impactés sous bâtiments	L_s	10	(ssi)	10	(ssi)
Profondeur des sols impactés à l'extérieur (vapeur)		10	(ssi)	10	(ssi)
Profondeur des sols de surface impactés à l'extérieur (ingestion/poussières)		10	(ssi)	10	(ssi)
Caractéristiques de la nappe					
Groundwater depth (cm)	L_{gw}	1900	(sso)	1900	(sso)
Vadose zone thickness (cm)	h_v	1881,2	(sso)	1881,2	(sso)
Capillary fringe thickness (cm)	h_{cap}	18,8	(ssi, 2)	18,8	(ssi, 2)
Caractéristiques des sols					
Perméabilité des sols à la vapeur (cm ²)	Kv	1,57E-08	(ssi, 2)	1,57E-08	(ssi, 2)
Fraction volumique de sols	Vs	61,0%	(ssi, 2)	61,0%	(ssi, 2)
Porosité totale	θ_T	39,0%	(ssi, 2)	39,0%	(ssi, 2)
Fraction d'air contenu dans la zone vadose	θ_{as}	31,4%	(ssi, 2)	31,4%	(ssi, 2)
Fraction d'eau contenue dans la zone vadose	θ_{ws}	7,6%	(ssi, 2)	7,6%	(ssi, 2)
Fraction d'air contenu dans la frange capillaire	θ_{acap}	8,7%	(ssi, 2)	8,7%	(ssi, 2)
Fraction d'eau contenue dans la frange capillaire	θ_{wcap}	30,3%	(ssi, 2)	30,3%	(ssi, 2)
Densité	ρ_s	1,62	(ssi, 2)	1,62	(ssi, 2)
Fraction de carbone organique	F_{oc}	0,05%	(ssi, 2)	0,05%	(ssi, 2)
Références :					
(1) ASTM - American Society for Testing and Materials - Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release					
(2) US EPA "User's guide for evaluating subsurface vapor intrusion into building", 2003					
(ssi) Spécifique au site					

9.5 Résultats

Les risques estimés (Quotient de Danger et Excès de Risque Individuel) pour les futurs récepteurs exposés sont résumés dans les paragraphes et tableaux ci-dessous. Ces risques sont comparés aux niveaux de risques de référence suivants :

- 1 pour le Quotient de Danger (QD), qui caractérise le risque pour les substances ayant des effets à seuil, et ;
- 10-5 pour l'Excès de Risque Individuel (ERI), qui caractérise le risque pour les substances ayant des effets sans seuil.

L'hypothèse sécuritaire de l'additivité des toxicités de l'ensemble des composés est retenue dans les calculs en première approche.

9.5.1 Estimation des niveaux de risques – Scénario industriel sur site

Les résultats des calculs de risques pour l'exposition des employés sont résumés dans le tableau suivant. Les détails des calculs sont présentés en Annexe M.

Tableau 26 : ARR_p - Scénario industriel - Risques potentiels pour les employés sur site

	QD	Voie(s) d'exposition prépondérante(s)	ERI	Voie(s) d'exposition prépondérante(s)
Sur site				
Somme des risques	7,90E-03	Inhalation de vapeur de chloroforme, PCE	7,00E-07	Inhalation de vapeur de TCE

Note : Niveaux de risques de référence : QD = 1 ; ERI = 1E-05.

Les niveaux de risques pour un usage industriel sont inférieurs aux niveaux de risques de référence en considérant les concentrations maximales actuellement observées sur le site dans les gaz du sol (hors zones impactées).

Les niveaux de risques résiduels attendus après mise en place des mesures de gestion proposées seront donc bien inférieurs aux seuils de référence.

Cette situation sera confirmée par l'analyse des risques résiduels qui sera réalisée à l'issue des travaux de réhabilitation.

9.5.2 Estimation des niveaux de risques – Usage « résidentiel » constaté hors-site

Les résultats des calculs de risques pour l'exposition des résidents hors-site sont résumés dans le Tableau suivant. Les détails des calculs sont présentés en Annexe M.

Tableau 27 : IEM - Scénario « résidentiel » hors-site - Risques potentiels pour les enfants et adultes

	QD	Voie(s) d'exposition prépondérante(s)	ERI	Voie(s) d'exposition prépondérante(s)
Hors-site				
Somme des risques	3,60E-05	Inhalation de vapeur d'hydrocarbures légers	-	

Note :

- Niveaux de risques de référence : QD = 1 ; ERI = 1E-05 ;
- Pas d'ERI car les hydrocarbures légers identifiés ne sont pas cancérigènes.

Les niveaux de risques résiduels pour un usage de type résidentiel hors-site (prise en compte de l'usage actuellement constaté le plus sensible) sont inférieurs aux niveaux de risques de référence en considérant, pour les calculs, les concentrations maximales analysées dans les gaz du sol prélevés hors-site.

Comme pour le scénario industriel sur site, les niveaux de risques résiduels attendus après mise en place des mesures de gestion proposées seront donc bien inférieurs aux seuils de référence.

Cette situation sera confirmée par l'analyse des risques résiduels qui sera réalisée à l'issue des travaux de réhabilitation.

9.6 Analyse de sensibilité

9.6.1 Facteurs d'incertitudes

D'un point de vue qualitatif, les facteurs d'incertitudes suivants sont à signaler :

- Concentrations d'entrée : ces incertitudes proviennent du caractère ponctuel de l'échantillonnage et de la mesure (spatiale et temporelle) et des incertitudes analytiques. ;
- Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) : plusieurs VTR sont généralement établies pour chaque composé et peuvent présenter des écarts significatifs dont l'influence est linéaire sur l'estimation des niveaux de risques et les calculs de seuils de réhabilitation. Les choix de VTR réalisés par ENVIRON se sont basés sur les aspects conservatifs des valeurs présentées par les organismes de référence en privilégiant les VTR proposées par les organismes les plus reconnus et issues des études toxicologiques les plus récentes et pour lesquelles les facteurs d'incertitudes sont les plus faibles ;

- Modèles de transferts de vapeurs : deux types de modèles ont été utilisés pour apprécier les concentrations en polluants dans l'air à l'intérieur des bâtiments (modèle développé par Johnson & Ettinger, 1991, préconisé par l'INERIS) ou à l'extérieur (modèle type « boîte »). Les calculs réalisés avec ces modèles sont généralement très sécuritaires par rapport aux mesures de terrain.

9.6.2 Etude de sensibilité

Afin d'évaluer la sensibilité des paramètres pris en compte pour la réalisation des calculs de risques, une étude de sensibilité est réalisée sur les paramètres suivants : concentrations d'entrée et VTR du TCE.

Tableau 28 : Résultats de l'étude de sensibilité

	QD	Voie(s) d'exposition prépondérante(s)	ERI	Voie(s) d'exposition prépondérante(s)
Sur site (valeurs initiales)				
Somme des risques	7,90E-03	Inhalation de vapeur de chloroforme, PCE	7,00E-07	Inhalation de vapeur de TCE
Sur site (concentrations ne substances volatiles 2 fois plus élevées)				
Somme des risques	1,60E-02	Inhalation de vapeur de chloroforme, PCE	1,40E-06	Inhalation de vapeur de TCE
Sur site (VTR du TCE de l'IRIS 2011)				
Somme des risques	1,90E-01	Inhalation de vapeur de chloroforme, PCE	7,00E-07	Inhalation de vapeur de TCE

Note : Niveaux de risques de référence : QD = 1 ; ERI = 1E-05.

Les différents paramètres testés confirment des niveaux de risques inférieurs aux seuils de référence pour un usage industriel du site.

9.7 Synthèse des résultats de l'ARR et de l'IEM

Les niveaux de risques calculés montrent que le scénario de redéveloppement sur site est compatible avec les concentrations résiduelles attendues.

Les niveaux de risques calculés montrent la compatibilité d'usage pour les populations habitant au voisinage du site.

10 Restrictions d'usage

L'objectif de la mise en place de restrictions d'usage est de s'assurer que les précautions d'utilisation décidées au moment de la réhabilitation soient formalisées puis attachées durablement au terrain. L'objet des restrictions d'usage est triple : informer (en particulier les acquéreurs ou utilisateurs potentiels des terrains), encadrer (fixer certaines précautions préalables à toute intervention sur le site) et pérenniser l'information.

En particulier, dans le cas des terrains de l'ancien CPR qui ont vocation à être redéveloppés dans le cadre du projet de la ZAC de l'Horloge, les principaux objets sont de :

1. S'assurer qu'une éventuelle modification de l'usage ne sera possible que si elle s'accompagne de la révision préalable des conditions techniques de la remise en état nécessaires pour rendre possible ce nouvel usage dans de bonnes conditions;
2. Fournir un minimum de sécurité à l'exploitant afin de le mettre à l'abri de changements d'usage des sols liés à des changements de politique locale d'urbanisme ou de décision des propriétaires successifs du site, qui ne seraient pas de son fait.

Des restrictions d'usage, qui pourront prendre la forme de servitudes d'utilité publique (SUP) notamment sur les eaux souterraines, seront proposées après la mise en œuvre des mesures de gestion. Ces restrictions devront préciser :

- Les usages compatibles avec l'état du site :
 - Les restrictions relatives à l'usage du sol et du sous-sol ;
 - Les restrictions relatives à l'usage des eaux souterraines ;
- Les mesures d'exploitation et d'entretien éventuellement nécessaires au maintien de leur pérennité, et au sens large, les mesures de gestion mises en œuvre pour garantir, dans le temps, la compatibilité de l'usage avec l'état des sols ;
- Les dispositifs mis en place afin de garantir l'effectivité des mesures de surveillance du site. Ces prescriptions peuvent impliquer la mise en place d'ouvrage de surveillance, tels que des piézomètres, et prévoir le libre accès de l'exploitant à ces installations pendant la durée nécessaire aux opérations de surveillance.

10.1 Restrictions d'usage des sols

Les restrictions relatives à l'usage du sol et du sous-sol ont pour finalité de restreindre les possibilités d'affectation des sols à certaines activités, voire d'interdire totalement ou partiellement les possibilités de construire dans la ou les zones qu'elles délimitent. Elles peuvent également fixer les prescriptions techniques particulières auxquelles seront subordonnées les modalités de construction. Enfin, elles ont pour objet d'interdire, de limiter ou de n'autoriser que sous certaines conditions les travaux susceptibles d'affecter le sous-sol (terrassment, affouillement, remaniement des sols, foration de puits et forages autres que ceux destinés à la surveillance des eaux souterraines et des sols).

Notamment, les prescriptions suivantes peuvent être anticipées :

- Interdiction de réaliser des constructions autres que pour l'usage industriel défini sans mise à jour des évaluations de risques sanitaires ;
- Couverture des sols (enrobé/ voirie, bâtiment, espace vert) de manière à prévenir tout contact direct ;
- Validation, par une étude adaptée, de la compatibilité d'implantation de réseaux enterrés d'amenée d'eau potable avec les concentrations résiduelles en substances laissées en place au droit du site ;
- En cas de travaux de remaniement des sols (excavation de sols, réalisation de fondations,...), un examen de sols devra être réalisé. Si nécessaire, des mesures relatives à la santé, à l'hygiène, à la sécurité et à la prévention des éventuels transferts de pollution devront être prises, en particulier, afin d'assurer la protection du personnel réalisant les travaux et des tiers. L'évacuation hors-site de terres excavées devra être réalisée en conformité avec la réglementation applicable, dans les filières de traitement appropriées ;
- Toute personne amenée à réaliser des travaux susceptibles de toucher les sols devra être sensibilisée à la présence potentielle de concentrations résiduelles en polluants dans ces matériaux ;
- Tout espace vert devra être réalisé sur des matériaux sains d'apport extérieur sur une épaisseur d'au moins 1 m (plantation à usage récréatif). La culture de fruits ou légumes est interdite.

Il est à noter que dans le calendrier actuel, la cession des terrains à Séquano est prévue fin 2016.

Toutefois, en fonction de la durée entre la fin des travaux de remise en état et l'implantation du futur usage permettant de couvrir les sols, notamment si cette durée devenait excessive, SANOFI CHIMIE y procéderait.

10.2 Restrictions d'usage des eaux souterraines

Les restrictions relatives aux eaux souterraines ont pour objet d'interdire, de limiter ou de n'autoriser que sous certaines conditions leurs usages en tenant compte du règlement sanitaire départemental en vigueur de la Seine Saint Denis (93).

Compte tenu des anomalies de concentration analysées dans les eaux souterraines, et conformément aux usages actuellement observés sur site et dans son voisinage, l'usage comme eau potable est interdit (eaux des nappes perchées et de l'Eocène).

Des études spécifiques adaptées devront être réalisées et donner lieu à une autorisation administrative pour permettre un éventuel usage futur des eaux des nappes.

Seuls seront autorisés les prélèvements à des fins de surveillance des eaux.

Aucun coût significatif relatif à la mise en place des restrictions d'usage de l'eau et à leur respect n'est anticipé.

11 Surveillance environnementale

Concernant les eaux souterraines sur site et en aval hydraulique du site, il est proposé la mise en place des mesures de surveillance suivantes dans le cadre du bilan quadriennal :

- Mise en place (après les travaux) et maintien d'un réseau constitué de 16 piézomètres dans la nappe perchée et de 12 piézomètres dans la nappe éocène sur site et hors site servant à l'autocontrôle (voir Figures 40 et 41). En cas de destruction d'un ou plusieurs ouvrages au cours des futurs travaux d'aménagement, un (des) ouvrage(s) de remplacement sera(ont) réinstallé(s) ;
- Suivi semestriel du réseau piézométrique pendant une période initiale de 2 ans afin d'évaluer l'efficacité des mesures de gestion sur site (nappe perchée et nappe Eocène) ;
- Mesure des paramètres physico-chimiques (pH, T°C, Conductivité, potentiel Redox et oxygène dissous) et analyse a minima des composés suivants : métaux, BTEX, COHV, méthane, éthane, éthylène, acétone et alcool isopropylique ;
- Au bout de ces 2 ans, réévaluation du réseau de surveillance des eaux souterraines en fonction des résultats obtenus (réduction éventuelle du nombre d'ouvrages et de la fréquence de suivi) pour une nouvelle période de 2 ans.

Par ailleurs, un réseau de 15 piézaires (voir Figure 42) sera maintenu sur site après travaux de réhabilitation pour contrôler l'efficacité des mesures mises en œuvre et valider la compatibilité d'usage.

- Un suivi sera réalisé trimestriellement pendant 6 mois à 1 an afin de confirmer l'efficacité des mesures de gestion sur site (nappe perchée et nappe éocène) ;
- Analyse des composés suivants : BTEX, COHV.