12 A330 - PLAN DE GESTION

12.1 Préambule/rappels méthodologiques

Notre étude intervient dans le contexte d'un projet immobilier sur un site ayant accueilli par le passé, une activité industrielle et aujourd'hui considéré comme un Secteur d'Information sur les Sols (SIS). Dans le cadre du projet porté par AVENIR AMENAGEMENT, la dépollution du site doit permettre de le rendre compatible avec **l'usage sensible prévu de type résidentiel**.

La démarche proposée par AMETEN est conforme à la méthodologie nationale des sites et sols pollués décrite dans la note ministérielle d'avril 2017.

Compte-tenu des impacts identifiés dans le cadre de la mission DIAG, l'objectif du plan de gestion est :

- **de proposer des mesures de gestion pour les sources de pollution dites concentrées,** qui doivent être traitées autant que possible, indépendamment de toute notion de risque ;
- **de s'assurer que les impacts liés aux pollutions résiduelles sont maitrisés et acceptables** tant pour les populations que pour l'environnement.

Les pollutions concentrées qui nécessitent un traitement comprennent :

- **Les points chauds de pollution dans les sols**, qui sont définis par l'UPDS comme *« un volume fini de milieu souterrain au sein duquel les concentrations en une ou plusieurs substances sont significativement supérieures aux concentrations de ces mêmes substances à proximité immédiate de ce volume même en l'absence d'émission dans l'environnement ».* Nous allons donc définir des seuils de coupure théoriques, qui sont les seuils au-dessus desquels il devient intrinsèquement intéressant de traiter ces sols en retirant un maximum de la masse de polluant, tout en ne traitant qu'un volume de sol limité ;
- **Les produits purs**, c'est-à-dire dans le cas présent la phase flottante identifiée sur une grande partie du site.

Une fois les pollutions concentrées identifiées, il convient de valider que les seuils de coupures définis sont bien les objectifs de réhabilitation. Pour cela, nous devons vérifier que les conditions suivantes seront respectées sur l'ensemble du site d'étude :

- compte tenu des usages actuels ou futur du site et des éventuelles restrictions mises en œuvre, les pollutions résiduelles laissées en place dans les sols permettent le respect des objectifs de qualité des milieux ou conduisent à des Analyses des Risques Résiduels (ARR) prédictives acceptables ;
- l'absence de capacité de relargage des sols au droit du site entraînant une dégradation significative de la qualité des eaux souterraines (contraire aux dispositions de l'arrêté du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines) ;
- une qualité des eaux comparable entre l'amont et l'aval pour les substances liées à l'activité actuelle ou historique menée sur le site ;
- le traitement des volumes limités de sol présentant la masse de polluant la plus importante (c'est-à-dire les sols dont les concentrations sont supérieures au seuil de coupure théorique) est financièrement acceptable au regard du bilan coût-avantage.

La suite du rapport présente donc les étapes suivantes :

1- Définition des seuils de coupures sur la base de bilans massiques ;
2- Analyse des Risques Résiduels Prédictive ;
3- Définition des scénarios de gestion envisageables sur la base d'un bilan coûts/avantages.

<u>Remarque concernant les eaux souterraines</u> : la présence de produits polluants en phase dissoute, retrouvés notamment en aval hydraulique du site, est directement liée à la phase flottante (zone source). Une étude du BRGM (faire référence au doc du BRGM) a montré que le retrait même partiel de la masse de polluant présent dans la zone source permet, dans la grande majorité des cas, de réduire les concentrations dans la nappe et donc les risques pour l'homme et l'environnement. Le présent Plan de Gestion ne prévoit donc pas un traitement spécifique de la phase dissoute, mais uniquement de la phase flottante. Le traitement de la phase flottante peut toutefois entrainer une augmentation temporaire de la dissolution des composés et donc une remontée des concentrations en phase dissoute qui devra être anticipée lors de la phase travaux (notamment au regard des usages en aval hydraulique du site).

12.2 Pollutions concentrées : définition des seuils de coupures sur la base de bilans massiques

12.2.1 Principes généraux d'application

L'identification et la quantification des sources de pollution concentrées doit se faire :

- par des constats de terrain/des observations organoleptiques (mesures PID, etc..) ;
- par une méthode d'interprétation cartographique ;
- par la réalisation d'un bilan massique.

Ces méthodes utilisent des outils statistiques.

L'objectif est de déterminer un seuil de coupure « théorique », au-dessus duquel il serait intrinsèquement intéressant de traiter ces sols en retirant un maximum de la masse de polluant, tout en ne traitant qu'un volume de sol limité.

Les étapes que nous allons mettre en œuvre sont les suivantes :

- **Analyse statistique – distribution des polluants dans les sols** : l'objectif de l'analyse statistique proposée est de caractériser la présence d'un éventuel bruit de fond et/ou de valeurs anormales significativement différentes dans la distribution des concentrations. Elle doit donc permettre de rechercher et distinguer les différentes populations de valeurs présentes et, in fine, de proposer un seuil de coupure pour la pollution concentrée, basé sur les différentes populations de valeurs qui auront pu être identifiées ;
- **Analyse cartographique** – définition des volumes associés à chaque plage de concentration : sur la base des plages de concentrations établies précédemment, et pour chaque tranche de sol (pas de profondeur de 0,5 m), une cartographie des emprises spatiales de pollution est réalisée. La délimitation verticale des impacts est réalisée sur la base des données disponibles et la délimitation horizontale des impacts est réalisée cartographiquement sur la base du maillage et de la densité des sondages réalisés (intersection des médiatrices entre chaque point de sondage lorsque les sondages sont proches ; à défaut, estimations sur la base d'éléments topographiques ou d'observations de terrain) ;
- **Réalisation du bilan massique** : Les emprises des zones impactées cartographiées permettent une estimation des volumes de sol associés à chaque gamme de concentrations. En multipliant les volumes de sol ainsi déterminés par la masse volumique du sol (valeur estimée prise en compte : 1,8) et la concentration moyenne dans la gamme de concentrations considérée, la masse du polluant dans chaque volume de sol est calculée ;
- **Détermination du seuil de coupure**. L'objectif est de tendre vers un ratio masse/volume strictement supérieur à 1 et autant que possible vers un traitement de 80% de la masse de polluant.

12.2.2 Polluants pris en compte

Les polluants pris en compte sont ceux susceptibles d'engendrer un risque sanitaire. Compte tenu des surfaces impactées relativement faibles par rapport à la surface du site, les impacts en HAP et PCB sont considérés comme des points chauds qu'il est nécessaire de purger. Les zones concernées (n°2, 7, 8) seront traitées spécifiquement dans le plan de gestion.

Le tableau ci-après synthétise les surfaces des impacts par rapport à la surface totale du site étudié.

N° zone	Polluant(s)	Surface estimée - Diagnostic actuel (m²)	% superficie du site
1	**HCT**	6 100	13 %
2	**HAP** en SI	90	0,2 %
3	**Métaux sur éluat** (Plomb, Mercure et Antimoine) en P06	1800	4 %
4	**Mercure sur brut et éluat** en P07	1200	2,6 %
5	**Métaux sur éluat** (Plomb et Zinc) en P25 et P26	1400	3 %
6	**Métaux sur éluat** (Chrome) en P45	850	1,9%
7	**HCT, HAP** en SB	175	0,4%
8	**PCB** en P2	63	0,14%
9	**Métaux sur brut** (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Plomb, Zinc)	14 500	32%

Tableau 47 : Rapports de surface des matériaux impactés par rapport à la surface du site

De ce fait, les polluants pris en compte dans l'analyse par bilan massique sont les hydrocarbures (HCT) et les métaux lourds.

L'ensemble des données de concentration disponibles (données supérieures aux limites de quantification dans les sols, issues des anciennes études GEOPLUS et NORISKO de 2004, 2005 et 2007, et du diagnostic AMETEN de 2019) a été pris en compte pour la réalisation des bilans massiques. Le nombre de données ainsi pris en compte pour chacun des polluants est synthétisé dans le tableau ci-dessous.

DATE ANALYSE	HCT	Cuivre	Plomb	Zinc	Arsenic	Mercure
2004	/	8	8	8	8	1
2005	16	28	28	28	27	3
2007	7	13	13	13	13	/
2019	54	71	72	72	72	20
NB TOTAL	**75**	**120**	**121**	**121**	**120**	**24**

Tableau 48 : Nombre de valeurs prises en compte dans les bilans massiques

12.2.1 Hydrocarbures

12.2.1.1 Analyse statistique – Distribution des polluants

L'histogramme suivant présente la répartition des teneurs en HCT C10-C40, comprenant l'ensemble des échantillons présentant des teneurs supérieures à la limite de quantification. Cette représentation permet d'avoir une première estimation de l'importance et de la répartition d'une pollution au droit d'un site.

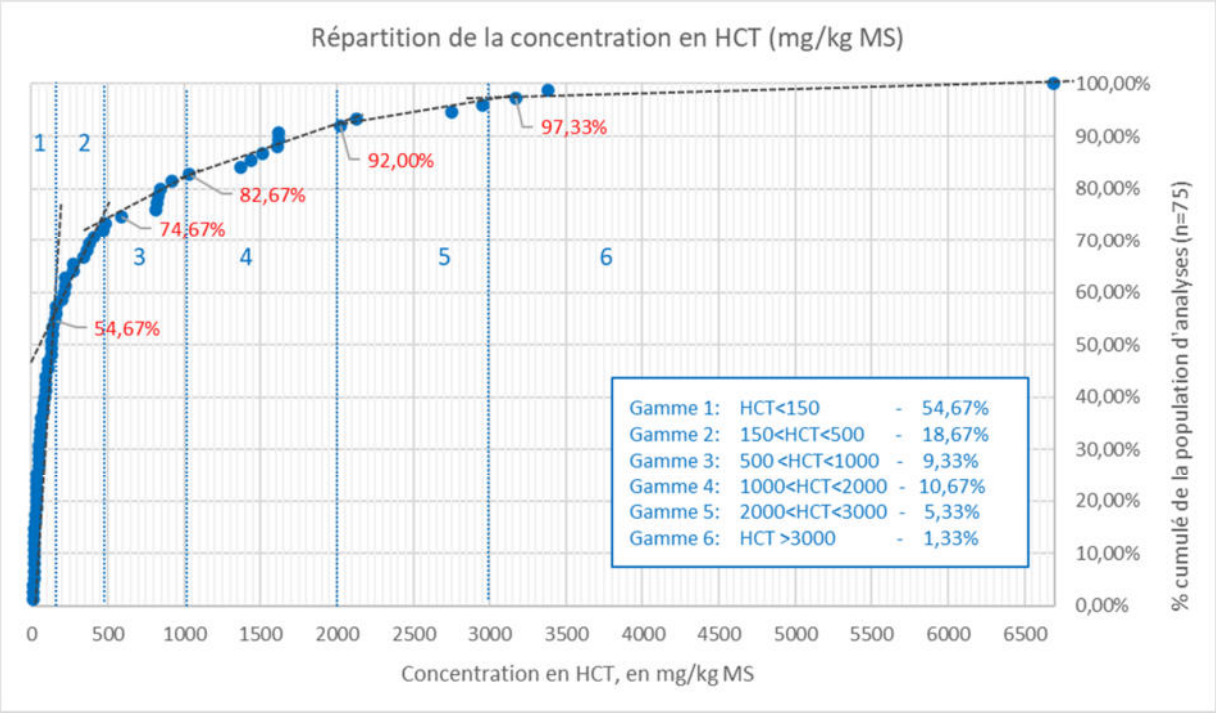


Figure 63 : Répartition des concentrations en HCT dans les sols (mg/kg MS)

Les ruptures de pente visibles sur ce graphique permettent d'identifier les plages de concentrations suivantes :

- Gammes 1 & 2 : [HCT] (concentration en HCT) < 500 mg/kg MS, représentant 73% des valeurs ;
- Gamme 3 : 500 < [HCT] < 1 000 mg/kg MS, représentant 9 % des valeurs ;
- Gamme 4 : 1 000 < [HCT] < 2 000 mg/kg MS, représentant 11 % des valeurs ;
- Gamme 5 : 2 000 < [HCT] < 3 000 mg/kg MS, représentant 5 % des valeurs ;
- Gamme de concentration 6 : [HCT] > 3 000 mg/kg MS, représentant 1,3 % des valeurs.

Les valeurs inférieures à 500 mg/kg MS, représentant plus de 70% de valeurs mesurées, peuvent être assimilées à une pollution diffuse non significative (bruit de fond).

12.2.1.2 Analyse cartographique – Courbes d'iso-concentrations

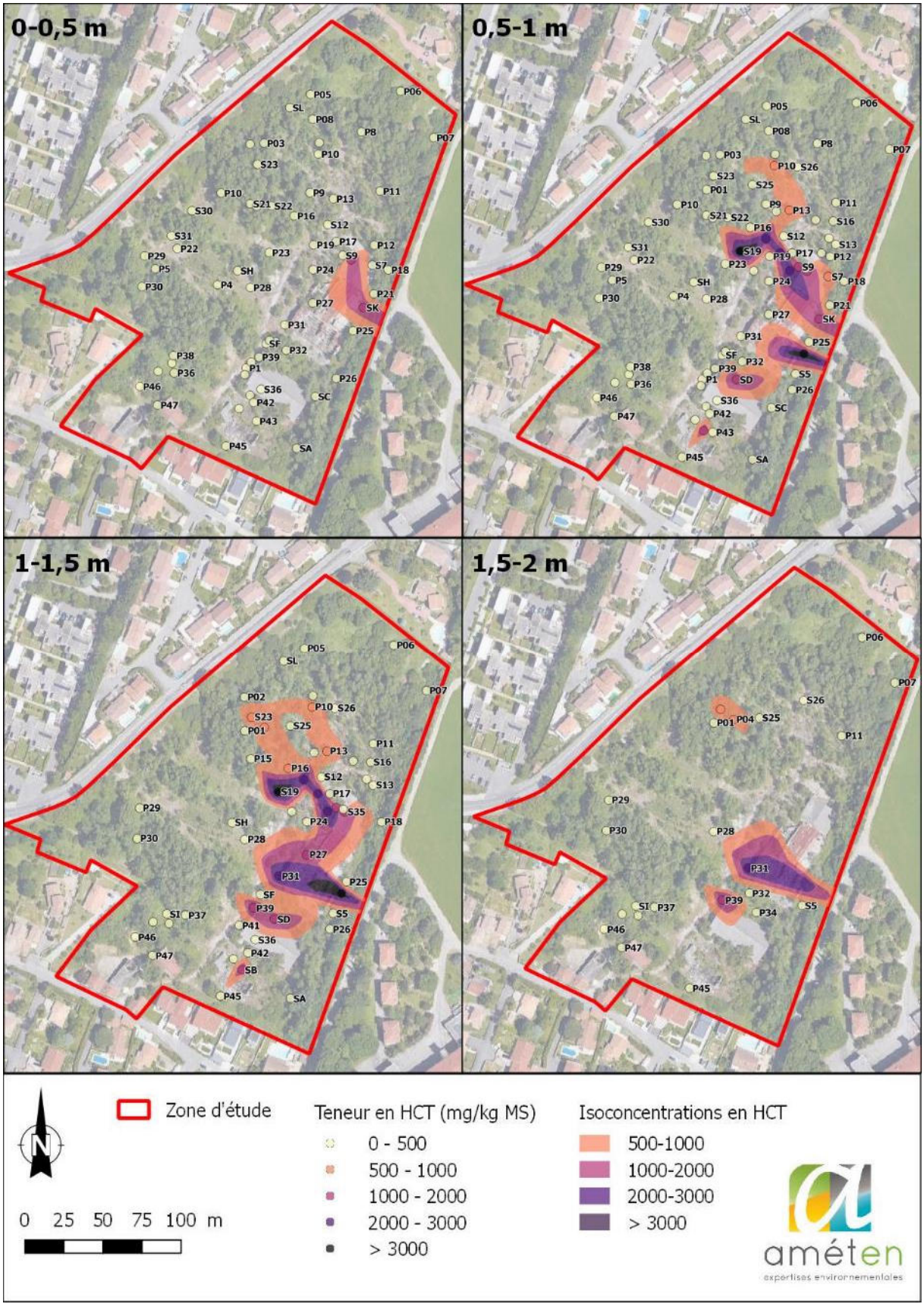


Figure 64 : Cartographie des impacts en HCT par pas de 0,5 m

12.2.1.3 Quantification de la masse de polluant / définition du seuil de coupure

Plage de concentration (mg/kg MS)	Tranche de sol concernée	Volume par tranche (m^3)	volume de sol par plage (m^3)	% de volume de sol par plage	Teneur moyenne de la tranche (mg/kg MS)	Masse du sol (kg sol)	Masse HCT par tranche (kg)	Masse HCT par plage (kg)	% masse HCT par plage	% masse HCT cumulée	Ratio masse de polluant/volume de sol pollué
500 - 1000	0-0,5	339	6 361	64%	750	610 200	458	9 120	42%	100%	1,43
	0,5-1	1 989			805	3 579 300	2 881				
	1-1,5	2 573			783	4 630 500	3 626				
	1,5-2	1 461			820	2 628 900	2 156				
1000 - 2000	0-0,5	233	2 307	23%	1 615	419 400	677	6 053	28%	58%	2,62
	0,5-1	574			1 460	1 032 300	1 507				
	1-1,5	1 087			1 430	1 956 600	2 798				
	1,5-2	413			1 440	743 400	1 070				
2000 - 3000	0-0,5	-	1 120	11%	-	-	-	5 212	24%	30%	4,65
	0,5-1	323			2 440	580 500	1 416				
	1-1,5	501			2 463	900 900	2 219				
	1,5-2	297			2 950	534 600	1 577				
> 3000	0-0,5	-	171	2%	-	-	-	1 183	5%	5%	6,94
	0,5-1	56			5 035	100 800	508				
	1-1,5	115			3 275	206 100	675				
	1,5-2	-			-	-	-				

En rouge : valeur médiane de la classe

Tableau 49 : Volume de sol et masse de HCT par plage de concentration

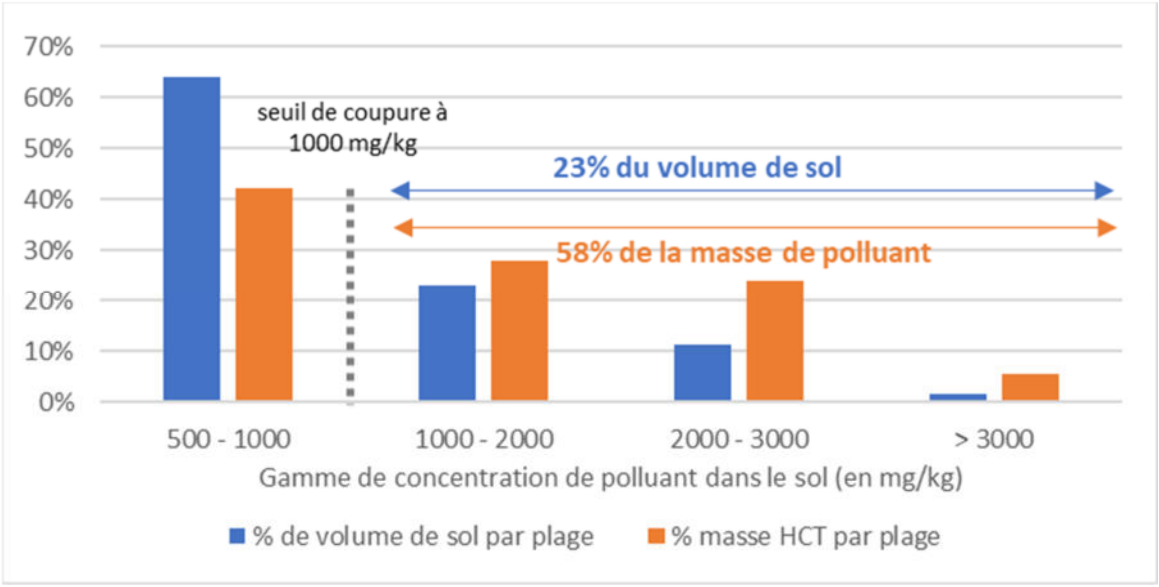


Figure 65 : Evolution du pourcentage de volume de sol et de la masse de HCT par gamme de concentration

Sur la base des données précédentes, il apparait qu'un seuil de coupure fixé à 1 000 mg/kg MS permet de traiter 58% de la masse de polluant pour un volume de sol pollué de 23%, soit un ratio de 2,62.

En fixant un seuil de coupure à 500 mg/kg MS, on obtient un ratio de 1,43, en traitant 100 % des pollutions non diffuses, mais cela nécessite de traiter 17 925 tonnes de matériaux.

En fixant un seuil de coupure à 3 000 mg/kg MS, on obtient un ratio de 6,94, mais on ne traite que 5% de la masse de polluant, ce qui est trop éloigné de l'objectif des 80% pour être acceptable.

Ainsi, **nous pouvons définir un seuil de coupure théorique de 1 000 mg/kg pour les HCT C10-C40**, ce qui signifie que toutes les concentrations supérieures à 1 000 mg/kg MS sont considérées comme des points chauds de pollution devant être traités, indépendamment du projet (soit environ 3 600 m^3 de matériaux - 6 475 tonnes).

12.2.2 Cuivre

12.2.2.1 Analyse statistique – distribution du Cuivre

L'histogramme suivant présente la répartition des teneurs en Cuivre, comprenant l'ensemble des échantillons présentant des teneurs supérieures à la limite de quantification.

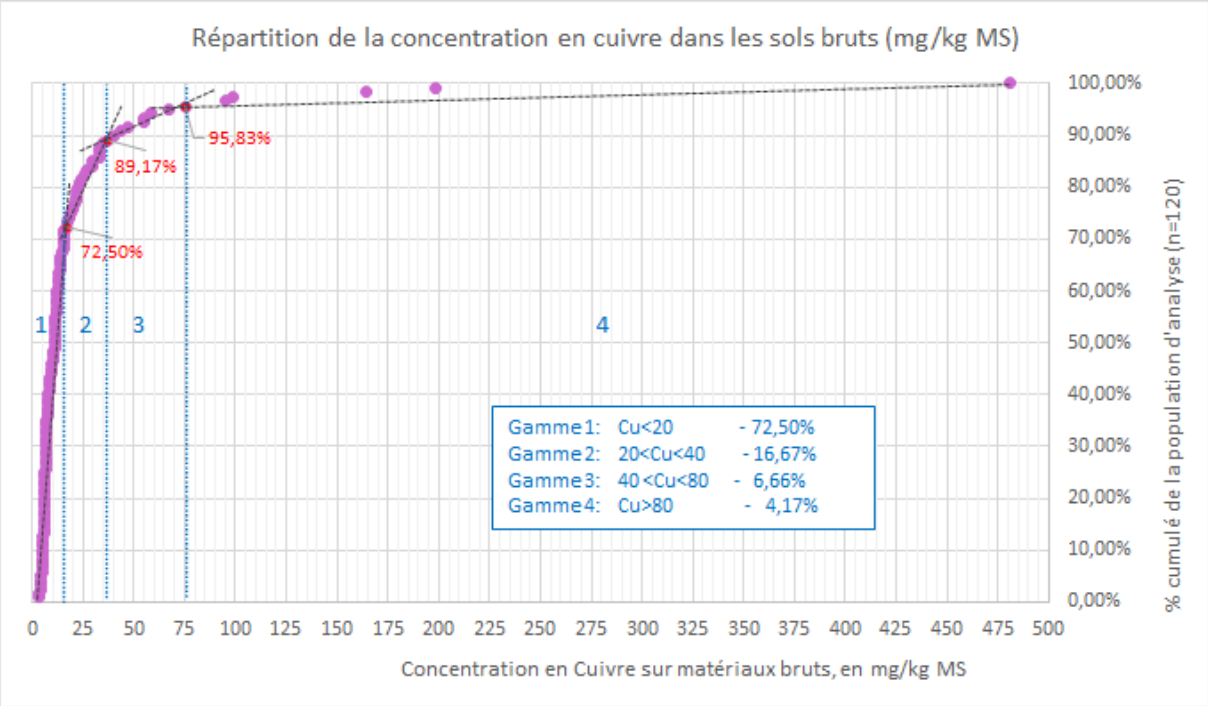


Figure 66 : Répartition de la concentration en cuivre dans les sols bruts (mg/kg MS)

Les ruptures de pente visibles sur ce graphique permettent d'identifier les plages de concentrations suivantes :

- GAMME 1 : [Cuivre] < 20 mg/kg MS, représentant 72,50% des valeurs ;
- GAMME 2 : 20 < [Cuivre] < 40 mg/kg MS, représentant 16,67% des valeurs ;
- GAMME 3: 40 < [Cuivre] < 80 mg/kg MS, représentant 6,66% des valeurs ;
- GAMME 4 **:** [Cuivre]> 80 mg/kg MS, représentant 4,17% des valeurs.

Le bruit de fond pour les sols ordinaires en France donné par l'INRA pour le Cuivre est de 20 mg/kg MS. Les valeurs inférieures à 20 mg/kg MS, représentant plus de 70% de valeurs mesurées, elles peuvent être assimilées à ce bruit de fond.

12.2.2.2 Analyse cartographique – courbes d'iso-concentrations

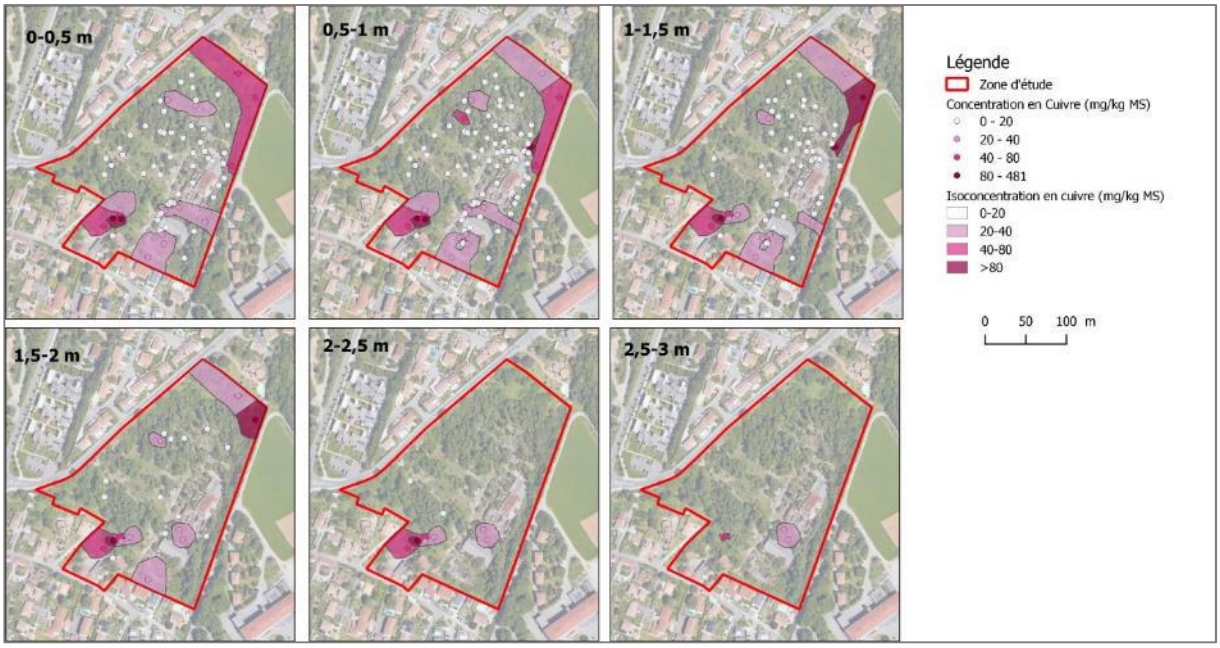


Figure 67 : Cartographie des concentrations en Cuivre par pas de 0,5 m

12.2.2.3 Quantification de la masse de polluant/définition du seuil de coupure

Plage de concentration	Tranche de sol concernée	Surface m²	Volume par tranche (m3)	Volume de sol par plage (m3)	% volume de sol par plage	Teneur moyenne de la tranche (mg/kg MS)	Masse du sol (kg sol)	Masse Cu par tranche (kg Cu)	Masse Cu par plage (kg Cu)	%masse Cu par plage	% masse Cu cumulée	Ratio masse de polluant/volume de sol pollué
20-40	0-0,5	5367	2683,5	12040	59,90%	27,42	49,356	0,0014	0,009	1,78%	100,00%	0,02966078
	0,5-1	6474	3237			26,67	48,006	0,0013				
	1-1,5	5214	2607			26,28	47,304	0,0012				
	1,5-2	5143	2571,5			29,03	52,254	0,0015				
	2-2,5	1174	587			32,72	58,896	0,0019				
	2,5-3	708	354			29	52,2	0,0015				
40-80	0-0,5	5477	2738,5	6147	30,58%	59,24	106,632	0,0063	0,039	7,87%	98,22%	0,25732346
	0,5-1	3670	1835			62,24	112,032	0,0070				
	1-1,5	981	490,5			57,1	102,78	0,0059				
	1,5-2	981	490,5			57,3	103,14	0,0059				
	2-2,5	1106	553			57,3	103,14	0,0059				
	2,5-3	79	39,5			67,3	121,14	0,0082				
>80	0-0,5	261	130,5	1912	9,51%	289,8	521,64	0,1512	0,449	90,35%	90,35%	9,49796910
	0,5-1	407	203,5			225	405	0,0911				
	1-1,5	1789	894,5			207,4	373,32	0,0774				
	1,5-2	1228	614			181	325,8	0,0590				
	2-2,5	139	69,5			198	356,4	0,0706				
	2,5-3	0	0			0	0	0,0000				

Tableau 50 : Volume de sol et masse de Cuivre par plage de concentration

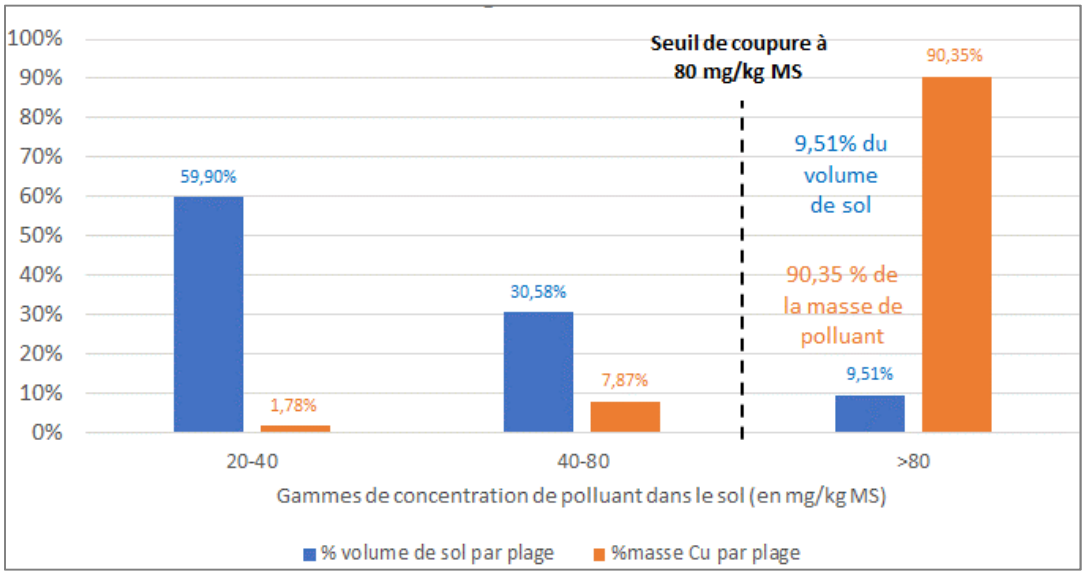


Figure 68 : Evolution du pourcentage de volume de sol et de la masse de Cuivre par gamme de concentration

Sur la base des données précédentes, il apparait qu'un seuil de coupure fixé à 80 mg/kg MS permet de traiter 90,35% de la masse de polluant pour un volume de sol pollué de 9,51 %, soit un ratio de 9,49.

En fixant un seuil à 40 mg/kg MS, on traiterait seulement 9,65% de la masse de polluant pour un volume de 59,90 %, soit un ratio de 0,25.

Ainsi, **nous pouvons définir un seuil de coupure théorique de 80 mg/kg pour le Cuivre**, ce qui signifie que toutes les concentrations supérieures à 80 mg/kg MS sont considérées comme des points chauds de pollution devant être traités, indépendamment du projet (soit environ 1 912 m^3 de matériaux – 3 442 tonnes).

12.2.3 Arsenic

12.2.3.1 Analyse statistique – distribution de l'Arsenic

L'histogramme suivant présente la répartition des teneurs en Arsenic, comprenant l'ensemble des échantillons présentant des teneurs supérieures à la limite de quantification.

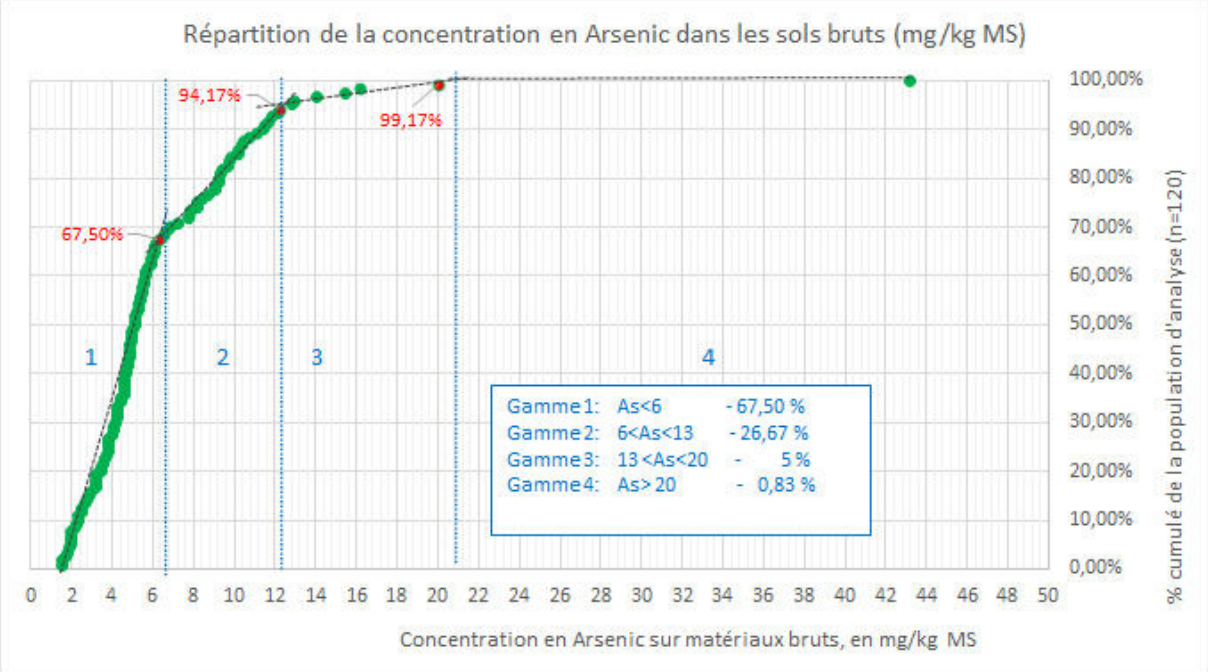


Figure 69 : Répartition de la concentration en Arsenic dans les sols bruts (mg/kg MS)

Les ruptures de pente visibles sur ce graphique permettent d'identifier les plages de concentrations suivantes :

- GAMME 1 : [Arsenic] < 6 mg/kg MS, représentant 67,50 % des valeurs ;
- GAMME 2 : 6 < [Arsenic] < 13 mg/kg MS, représentant 26,67% des valeurs ;
- GAMME 3 : 13 < [Arsenic] < 20 mg/kg MS, représentant 5% des valeurs ;
- GAMME 4 : [Arsenic]> 20 mg/kg MS, représentant 0,83% des valeurs.

Le bruit de fond pour les sols ordinaires en France donné par l'INRA pour l'Arsenic est de 25 mg/kg MS. Les valeurs inférieures à 20 mg/kg MS, représentant plus de 99 % de valeurs mesurées, elles peuvent être assimilées à du bruit de fond.

Ainsi, **on ne retient qu'un seul impact très localisé présentant une valeur supérieure à 20 mg/kg MS**. Il s'agit de l'échantillon 0-1,4 m du sondage P30 avec une teneur de 43,2 mg/kg MS d'Arsenic. Ce point est considéré comme un point chaud.

12.2.4 Plomb

12.2.4.1 Analyse statistique – distribution du Plomb

L'histogramme suivant présente la répartition des teneurs en Plomb, comprenant l'ensemble des échantillons présentant des teneurs supérieures à la limite de quantification.

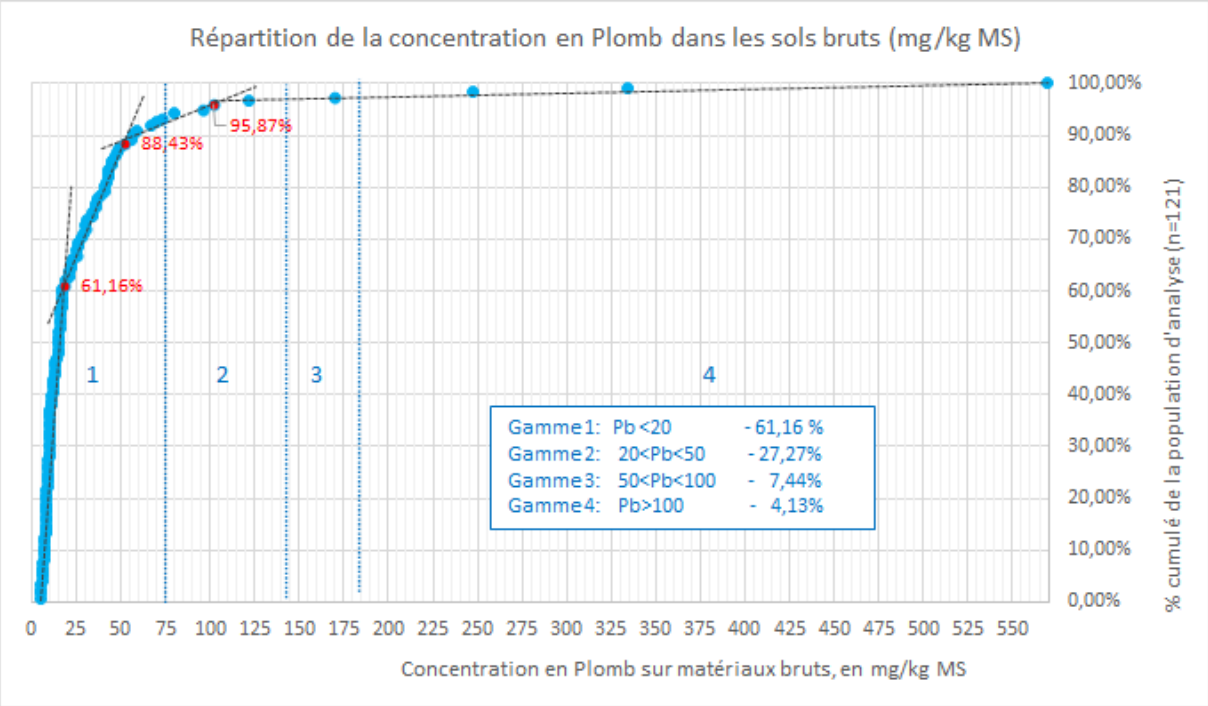


Figure 70 : Répartition de la concentration en Plomb dans les sols bruts (mg/kg MS)

Les ruptures de pente visibles sur ce graphique permettent d'identifier les plages de concentrations suivantes :

- GAMME 1 : [Plomb] < 20 mg/kg MS, représentant 61,16% des valeurs ;
- GAMME 2: 20 < [Plomb] < 50 mg/kg MS, représentant 27,27% des valeurs;
- GAMME 3: 50 < [Plomb] < 80 mg/kg MS, représentant 7,44% des valeurs;
- GAMME 4 : [Plomb]> 100 mg/kg MS, représentant 4,13% des valeurs.

Le bruit de fond pour les sols ordinaires en France donné par l'INRA pour le Plomb est de 50 mg/kg MS. Les valeurs inférieures à 50 mg/kg MS, représentant plus de 88% de valeurs mesurées, elles peuvent être assimilées à du bruit de fond.

12.2.4.2 Analyse cartographique – courbes d'iso-concentrations

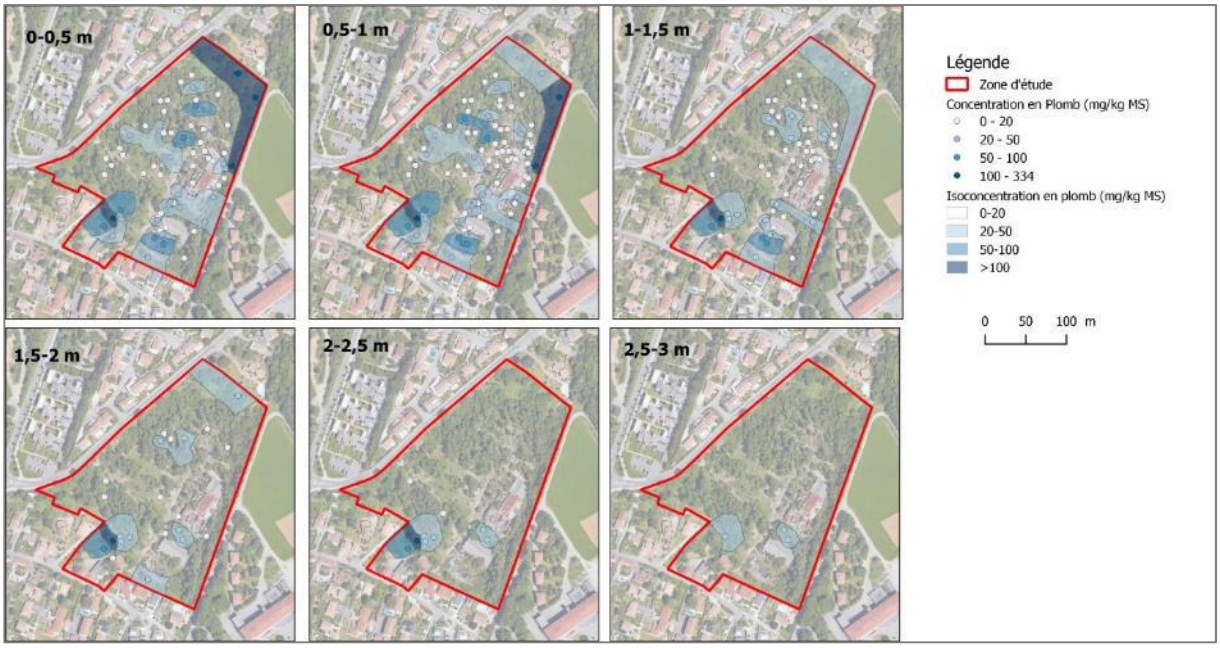


Figure 71 : Cartographie des concentrations en Plomb par pas de 0,5 m

12.2.4.3 Quantification de la masse de polluant/définition du seuil de coupure

Plage de concentration	Tranche de sol concernée	Surface m²	Volume par tranche (m3)	Volume de sol par plage (m3)	% volume de sol par plage	Teneur moyenne de la tranche (mg/kg MS)	Masse du sol (kg sol)	Masse Pb par tranche (kg Pb)	Masse Pb par plage (kg Pb)	%masse Pb par plage	% masse Pb cumulée	Ratio masse de polluant/volume de sol pollué
20-50	0-0,5	7442	3721	18808	67,20%	31,94	57,492	0,0018	0,015	2,19%	100,00%	0,03264694
	0,5-1	9868	4934			32,87	59,166	0,0019				
	1-1,5	10463	5231,5			37	66,6	0,0025				
	1,5-2	6227	3113,5			36,85	66,33	0,0024				
	2-2,5	1808	904			41,02	73,836	0,0030				
	2,5-3	1808	904			42,33	76,194	0,0032				
50-100	0-0,5	3424	1712	4816,5	17,21%	68,76	123,768	0,0085	0,039	5,77%	97,81%	0,33511067
	0,5-1	3147	1573,5			65,86	118,548	0,0078				
	1-1,5	1526	763			60,82	109,476	0,0067				
	1,5-2	768	384			67,3	121,14	0,0082				
	2-2,5	768	384			67,3	121,14	0,0082				
	2,5-3	0	0			0	0	0,0000				
>100	0-0,5	4895	2447,5	4364	15,59%	213,25	383,85	0,0819	0,627	92,04%	92,04%	5,90293671
	0,5-1	2609	1304,5			227,66	409,788	0,0933				
	1-1,5	408	204			341,67	615,006	0,2101				
	1,5-2	408	204			345,5	621,9	0,2149				
	2-2,5	408	204			122	219,6	0,0268				
	2,5-3	0	0			0	0	0,0000				

Tableau 51 : Volume de sol et masse de Plomb par plage de concentration

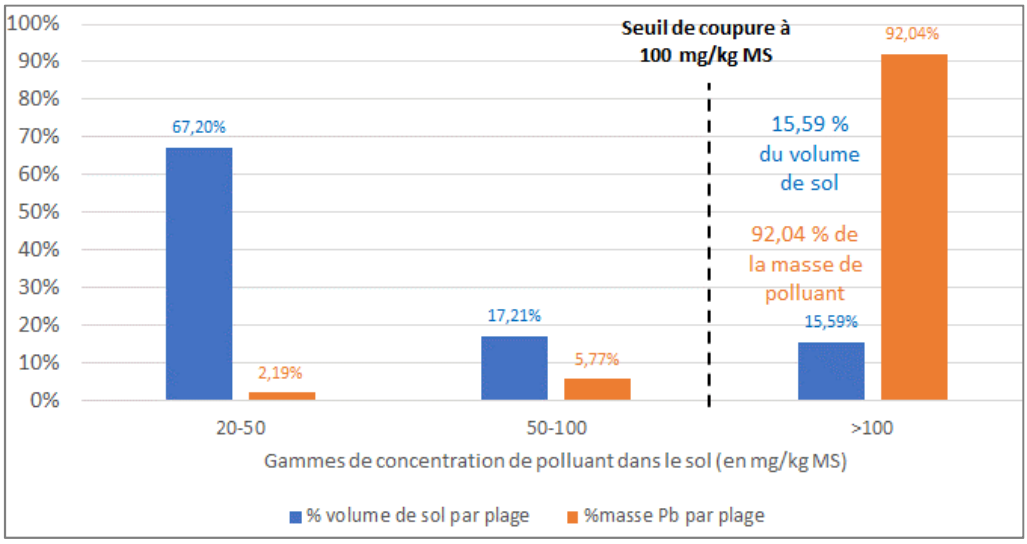


Figure 72 : Evolution du pourcentage de volume de sol et de la masse de Plomb par gamme de concentration

Sur la base des données précédentes, il apparait qu'un seuil de coupure fixé à 100 mg/kg MS permet de traiter 92,04 % de la masse de polluant pour un volume de sol pollué de 15,59 %, soit un ratio de 5,9.

En fixant un seuil à 50 mg/kg MS, on traiterait seulement 7,96% de la masse de polluant pour un volume de 84,41 %.

Ainsi, **nous pouvons définir un seuil de coupure théorique de 100 mg/kg pour le Plomb**, ce qui signifie que toutes les concentrations supérieures à 100 mg/kg MS sont considérées comme des points chauds de pollution devant être traités, indépendamment du projet (soit environ 4 364 m^3 de matériaux – 7 855 tonnes).

12.2.5 Zinc

12.2.5.1 Analyse statistique – distribution du Zinc

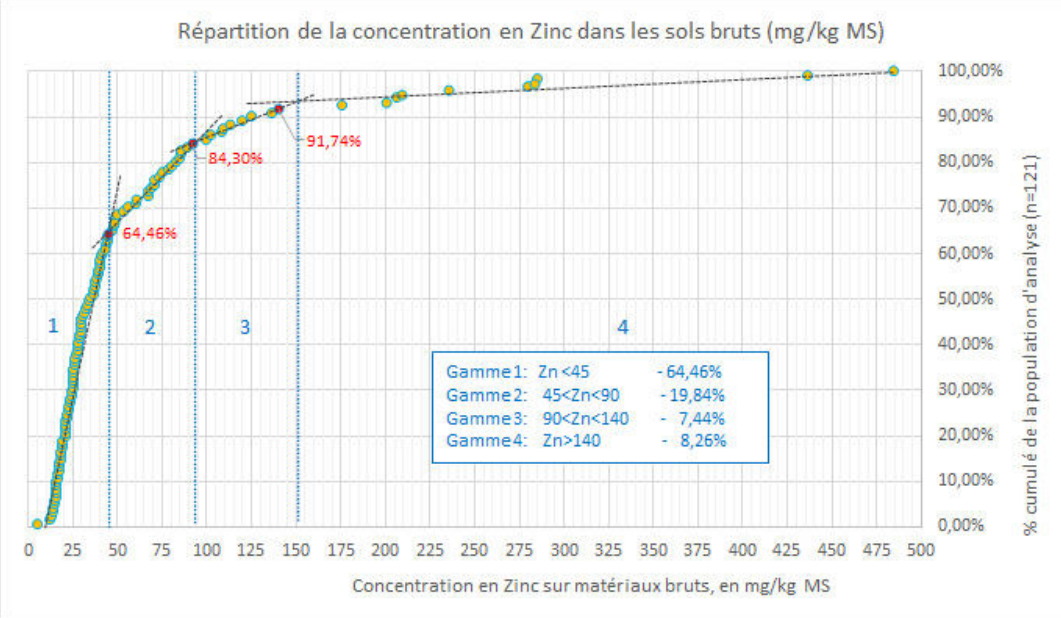


Figure 73 : Répartition de la concentration en Zinc dans les sols bruts (mg/kg MS)

Les ruptures de pente visibles sur ce graphique permettent d'identifier les plages de concentrations suivantes :

- GAMME 1 : [Zinc] < 45 mg/kg MS, représentant 64,46% des valeurs ;
- GAMME 2 : 45< [Zinc] < 90 mg/kg MS, représentant 19,84% des valeurs ;
- GAMME 3 : 90 < [Zinc] < 140 mg/kg MS, représentant 7,44% des valeurs ;
- GAMME 4 : [Zinc]> 140 mg/kg MS, représentant 8,26% des valeurs.

Le bruit de fond pour les sols ordinaires en France donné par l'INRA pour le Zinc est de 100 mg/kg MS. Les valeurs inférieures à 100 mg/kg MS, représentant plus de 91% de valeurs mesurées, elles peuvent être assimilées à du bruit de fond.

12.2.5.2 Analyse cartographique – courbes d'iso-concentrations

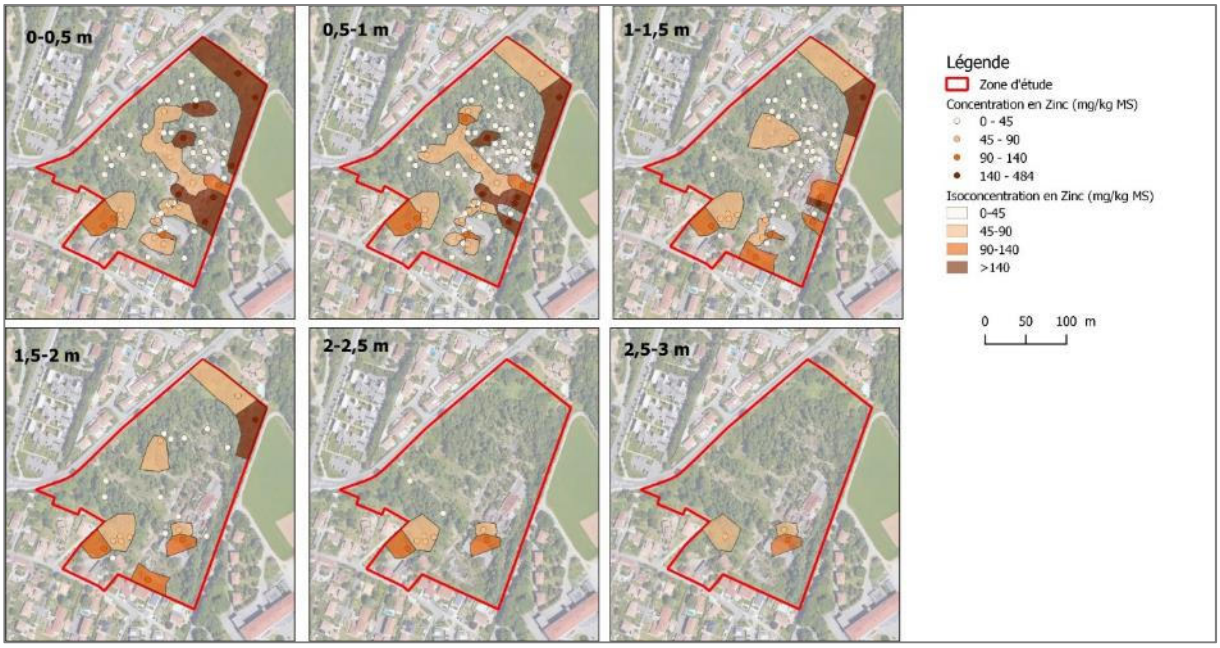


Figure 74 : Cartographie des concentrations en Zinc par pas de 0,5 m

12.2.5.3 Quantification de la masse de polluant/définition du seuil de coupure

Plage de concentration	Tranche de sol concernée	Surface m²	Volume par tranche (m3)	Volume de sol par plage (m3)	% volume de sol par plage	Teneur moyenne de la tranche (mg/kg MS)	Masse du sol (kg sol)	Masse Zn par tranche (kg Zn)	Masse Zn par plage (kg Zn)	%masse Zn par plage	% masse Zn cumulée	Ratio masse de polluant/volume de sol pollué
45-90	0-0,5	5774	2887	14536,5	52,35%	67,85	122,13	0,0083	0,055	7,32%	100,00%	0,13988957
	0,5-1	7675	3837,5			67,03	120,654	0,0081				
	1-1,5	6807	3403,5			66,88	120,384	0,0081				
	1,5-2	5331	2665,5			71,97	129,546	0,0093				
	2-2,5	1743	871,5			73,1	131,58	0,0096				
	2,5-3	1743	871,5			80,2	144,36	0,0116				
90-140	0-0,5	1797	898,5	5658,5	20,38%	108,93	196,074	0,0214	0,132	17,63%	92,68%	0,86540123
	0,5-1	2020	1010			111,14	200,052	0,0222				
	1-1,5	2993	1496,5			111,96	201,528	0,0226				
	1,5-2	2387	1193,5			108	194,4	0,0210				
	2-2,5	1439	719,5			111	199,8	0,0222				
	2,5-3	681	340,5			113	203,4	0,0230				
>140	0-0,5	7559	3779,5	7575	27,28%	288,63	519,534	0,1500	0,563	75,04%	75,04%	2,75110528
	0,5-1	4233	2116,5			299,14	538,452	0,1611				
	1-1,5	1828	914			242,5	436,5	0,1059				
	1,5-2	1530	765			285	513	0,1462				
	2-2,5	0	0			0	0	0,0000				
	2,5-3	0	0			0	0	0,0000				

Tableau 52 : Volume de sol et masse de Zinc par plage de concentration

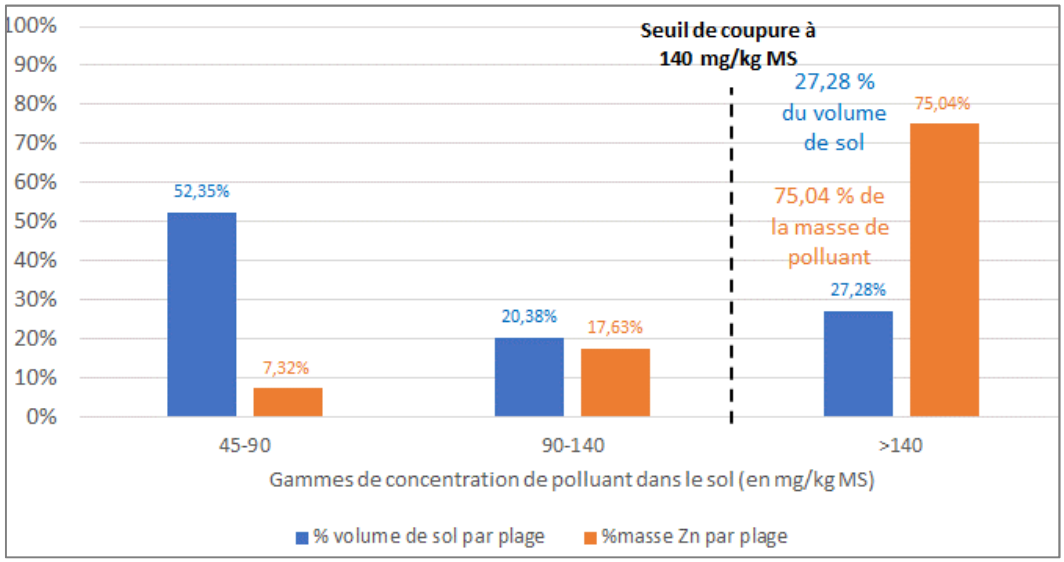


Figure 75 : Evolution du pourcentage de volume de sol et de la masse de Zinc par gamme de concentration

Sur la base des données précédentes, il apparait qu'un seuil de coupure fixé à 140 mg/kg MS permet de traiter 75,04 % de la masse de polluant pour un volume de sol pollué de 27,28 %, soit un ratio de 2,7.

En fixant un seuil à 90 mg/kg MS, on traiterait seulement 24,96% de la masse de polluant pour un volume de 72,72 % (ratio de 0,86).

Ainsi, **nous pouvons définir un seuil de coupure théorique de 140 mg/kg pour le Zinc**, ce qui signifie que toutes les concentrations supérieures à 140 mg/kg MS sont considérées comme des points chauds de pollution devant être traités, indépendamment du projet (soit environ 7 575 m^3 de matériaux – 13 635 tonnes).

12.2.6 Mercure

12.2.6.1 Analyse statistique – distribution des polluants

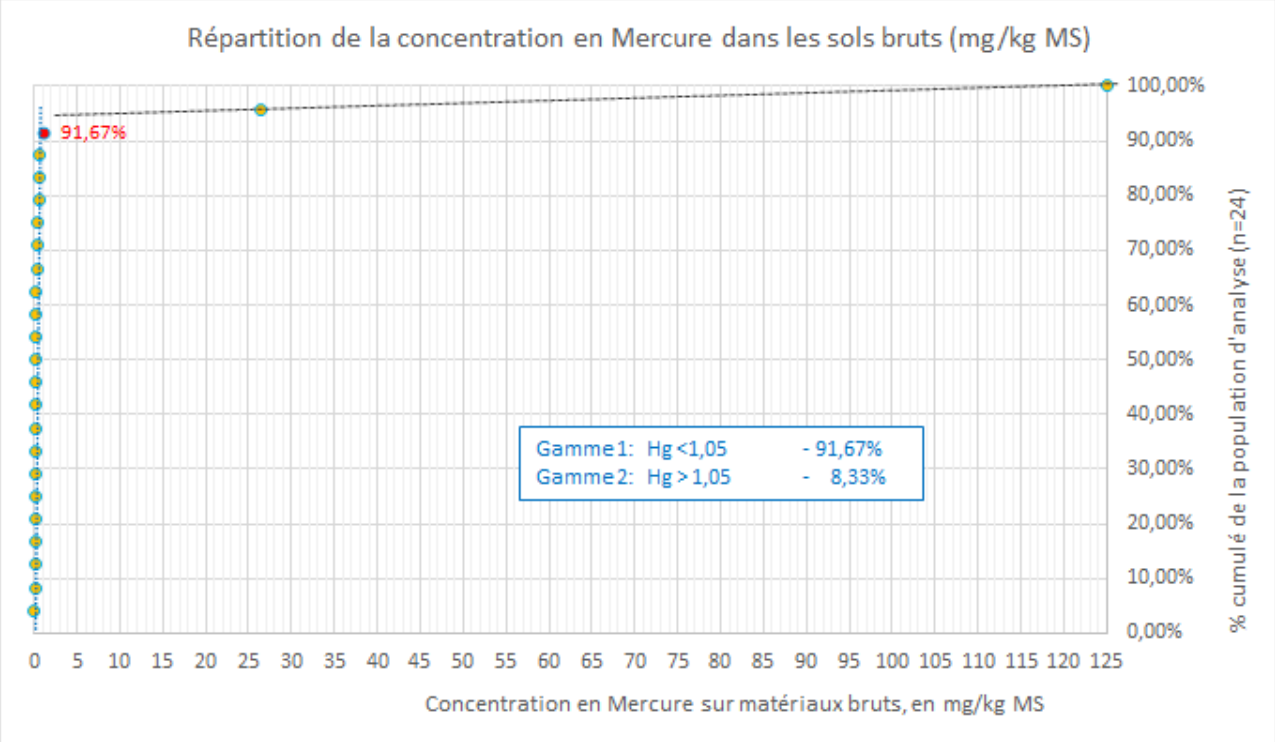


Figure 76 : Répartition de la concentration en Mercure dans les sols bruts (mg/kg MS)

Les ruptures de pente visibles sur ce graphique permettent d'identifier les plages de concentrations suivantes :

- GAMME 1 : [Mercure] < 1,05 mg/kg MS, représentant 91,67 % des valeurs ;
- GAMME 2 : [Mercure] > 1,05 mg/kg MS, représentant 8,33 % des valeurs.

Les valeurs inférieures à 1,05 mg/kg MS, représentant plus de 91 % de valeurs mesurées, elles peuvent être assimilées à une pollution diffuse.

Ainsi, **on ne retient qu'un seul impact très localisé présentant une valeur supérieure à 1,05 mg/kg MS**. Il s'agit des échantillons P7/0-1 et P7/1-1,8 du sondage P07 avec des teneurs respectives de 26,4 et 125 mg/kg MS de Mercure. Ce point est considéré comme un point chaud.

12.2.7 Synthèse des gammes de concentrations et seuils de coupure pour les hydrocarbures et les métaux lourds

	HCT	Cu	As	Pb	Zn	Hg
	/	INRA : 20/62/160 RMQS : 40,28	INRA : 25/60/284 RMQS:/	INRA : 50/90/10180 RMQS : 88,025	INRA : 100/250/11426 RMQS : 180,35	INRA : 0,1/2,3
Gamme 1	0-500	0-20	0-6	0-20	0-45	0-1
Gamme 2	500-1000	20-40	6-12	20-50	45-90	**>1**
Gamme 3	**1000**-2000	40-80	12-20	50-100	90-140	
Gamme 4	2000-3000	**>80**	**>20**	**>100**	**>140**	
Gamme 5	>3000					

Tableau 53 : Synthèse des gammes de concentrations et des seuils de coupure (valeurs en orange) pour les polluants en présence sur le site

Pour rappel, les zones concernées par des impacts en HAP ou PCB sont considérées comme points chauds et seront traitées dans le cadre du plan de gestion. Elles ne sont donc pas prises en compte dans les pollutions résiduelles qui seront laissées en place sur le site.

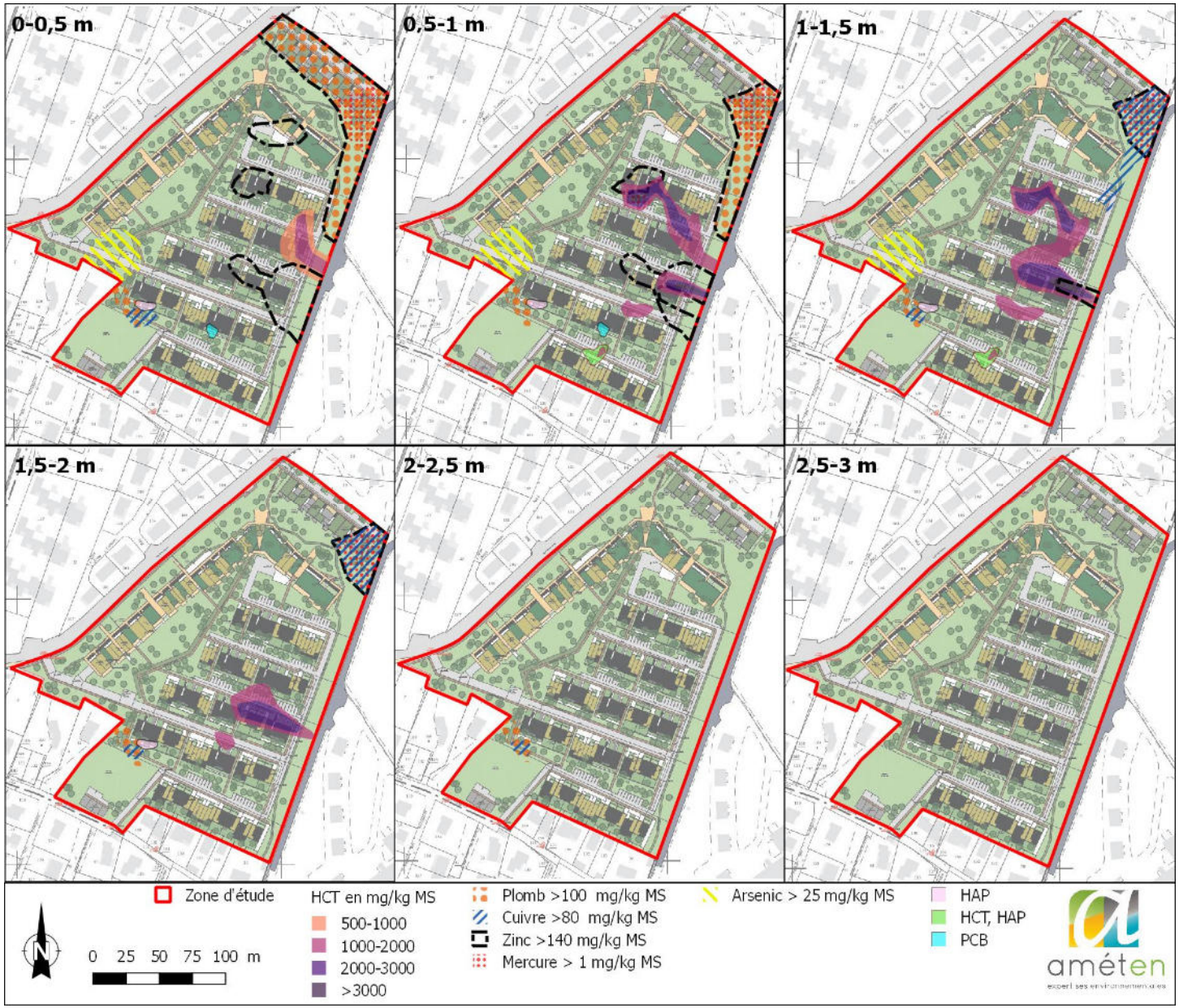


Figure 77 : localisation des pollutions à traiter par pas de 0,5 m de profondeur

12.3 Produits Purs

cf. parties 10.2.4 et 10.2.5 et Tableau 45 pour le détail des estimations

La phase flottante identifiée au toit de la nappe représente une masse totale de produit estimée à environ 1 000 tonnes.

Cette phase organique flottante est par ailleurs associée à un volume de terres polluées au niveau de la frange capillaire.

Les estimations détaillées au ***chapitre 10.2*** indiquent néanmoins une forte variabilité et de fortes incertitudes notamment liées à la continuité des lentilles flottantes entre les différents piézomètres du maillage et la composition chimique des phases selon les secteurs, pouvant entrainer des comportements et cinétiques différentes dans le milieu.

Afin de réduire ces incertitudes, il parait nécessaire de réaliser des piézomètres complémentaires au droit des zones impactées, de manière à vérifier la continuité de la phase flottante au droit du site, ou au contraire, sa répartition en lentilles non connectées. Des prélèvements complémentaires de phase flottante pourraient également être envisagés, avec d'autres méthodes.

Néanmoins, dans le cadre du présent document, nous proposons de retenir, en première approximation, les valeurs moyennes affectées d'un facteur d'incertitude établi à environ 30% (incertitude jugée comme « moyenne »).

Les valeurs retenues au sein du plan de gestion pour la partie « produits purs » sont :

- Phase flottante totale.....1 074 tonnes
- **Phase flottante « inaccessible » (> 4 m/TN) ..... 276 tonnes**
- Terres contaminées par la phase (total site).....8 651 tonnes
- **Terres accessibles contaminées par la phase (< 4 m/TN).....6 392 tonnes**

On retiendra que 74 % du volume de terres polluées par la phase est contenu dans des terrains où la nappe est présente à moins de 4 m de profondeur par rapport au terrain actuel – zone facilement accessible pour des travaux directs de dépollution.

12.4A320 - Analyse des risques résiduels prédictive sur site

12.4.1 Hypothèses retenues

Les hypothèses prises en compte pour la réalisation de l'analyse des risques prédictive sont listées ci-après. Les mesures de gestion associées seront décrites dans la suite du rapport.

La présente analyse des risques concerne uniquement les usages projetés sur site. Les risques potentiels hors site devront être traités au travers d'une démarche IEM, dont l'organisation et la gouvernance doivent être étudiées avec les services instructeurs (DREAL et/ou ARS), la mairie de Bourg-Lès-Valence et la Communauté de Communes.

Nous considérons que les travaux de dépollution qui seront entrepris au droit du site vont permettre :

- **De traiter la phase flottante ;**
- **De traiter les pollutions concentrées dans les sols identifiées précédemment ;**
- **D'améliorer à terme la qualité des eaux souterraines au droit du site.**

Nous considérons que les zones impactées en HCT seront traitées sur la tranche 0-0,5 m de sol en-deçà du seuil de coupure défini précédemment : élimination de tous matériaux dont la concentration est supérieure à 500 mg/kg (et non-pas au seuil de coupure de 1000 mg/kg). **Au-delà de 0,5 m/TN : élimination de tous les matériaux dont la concentration est supérieure au seuil de coupure de 1000 mg/kg MS.** A partir de 0,5 m/TN, des pollutions résiduelles en HCT seront donc présentes à des teneurs ne dépassant pas le seuil de coupure de 1000 mg/kg MS.

Nous considérons également que compte-tenu du passif industriel du site et des pollutions résiduelles qui seront laissées en place à l'issue du traitement, **des servitudes de restrictions d'usage devront être instaurées afin d'interdire les usages suivants** (bien que prévus à ce stade dans le projet – voir projet de servitudes dans le chapitre 0) :

- **Utilisation des eaux souterraines** - non prévue à ce stade dans le projet ;
- **Autoproduction de denrées alimentaires (potagers, arbres fruitiers)** – envisagé actuellement dans le projet au niveau des jardins privés des villas ;
- **Infiltration des eaux pluviales** – noues d'infiltration actuellement prévues dans le projet.

12.4.2 Mise à jour du schéma conceptuel

Les hypothèses décrites précédemment (définition de points chauds et seuils de coupure pour les polluants résiduels) permettent d'éliminer certaines sources de pollution/voies de transfert prises en compte dans le schéma conceptuel initial.

- **Sources de pollutions retenues :**
    - Pour les sols : HCT (< 1000 mg/kg) à partir de 0,5 m de profondeur ;
    - Pour les eaux : Naphtalène ;
- **Cibles retenues :**
    - les futurs résidents (adultes et enfants) en intérieur et en extérieur ;
- **Voies de transferts retenues de la source vers les autres milieux :**
    - **La volatilisation** des composés volatils (hydrocarbures fractions légères C10-C16, naphtalène) depuis les sols ou la nappe puis **la dispersion atmosphérique** des polluants vers l'air intérieur ou extérieur ;
- **Voies d'exposition :**
    - **Inhalation de polluants volatils en intérieur et en extérieur** depuis les sols et/ou les eaux souterraines.

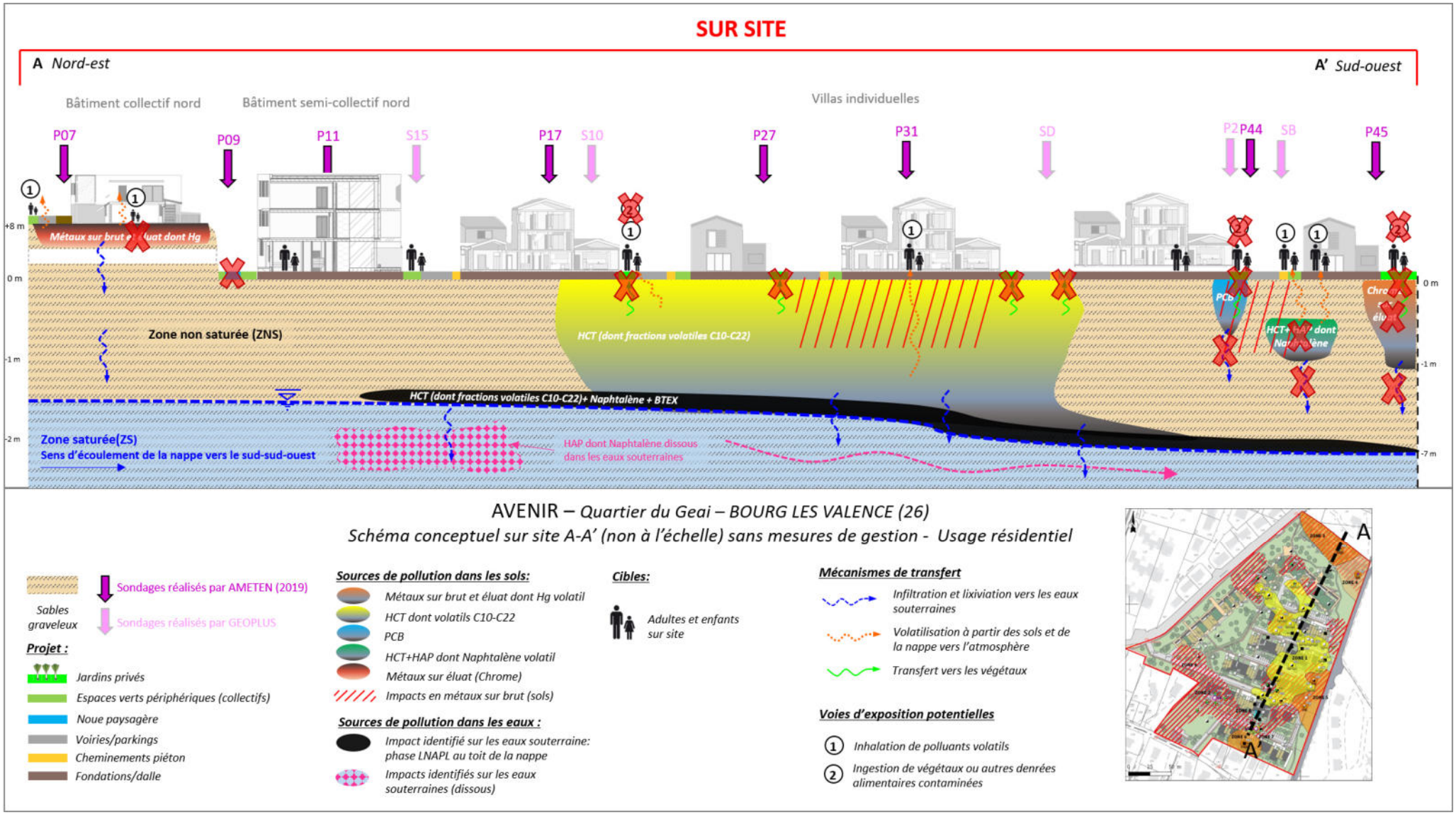


Figure 78 : Schéma conceptuel du site avec projet, avec hypothèses retenues

12.4.3 Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) prédictive

12.4.3.1 Budget espace-temps

Nous considérons dans notre étude le scénario lié au projet d'aménagement prévu, à savoir des bâtiments d'habitation sans sous-sol, avec des logements dès le niveau rez-de-chaussée (c'est le cas pour les villas sur la majeure partie du site au droit des zones polluées).

	Adulte	Enfant	Commentaires
Durée d'exposition (T)	30 ans	6 ans	L'INERIS considère qu'une personne change de logement en moyenne tous les 30 ans.
Nombre de jours d'exposition par an	365 j/an	365 j/an	Hypothèse majorante considérant qu'une personne est présente tous les jours de l'année chez elle.
Nombre d'heures d'exposition par jour en intérieur (RDC)	16,56 h/j	13,32 h/j	Les données d'exposition sont issues du rapport de l'INERIS « 23/06/2017INERIS-DRC-14-141968-11173C » Les valeurs pour les enfants ont été pondérées par classes d'âges entre 0 et 6ans.
Nombre d'heure d'exposition par jour en extérieur	0,67 h/j	1,57 h/j	

Tableau 54 : Budget espace-temps pour le scénario considéré

Les cibles considérées sont les adultes et les enfants résidants sur le site.

12.4.3.2 Sélection des composés et concentrations retenues dans les différents milieux

Sur la base du schéma conceptuel, il apparait que la **seule voie d'exposition retenue sur site est l'inhalation de composés volatils issus du dégazage depuis les sols et les eaux souterraines.**

- **Pour les sols :**

Les composés retenus sont les fractions volatiles d'hydrocarbures.

- **<u>Fractions hydrocarbonées</u> :**

Nous retenons uniquement les fractions <u>volatiles</u> d'hydrocarbures (C10-C16). Les fractions supérieures à C16 ne sont pas prises en compte car elles sont considérées comme peu à non volatiles et elles ne disposent à ce titre d'aucune VTR (Valeur Toxicologique de Référence) inhalation permettant de quantifier un risque.

En théorie, les concentrations mesurées dans l'air du sol sont préférentiellement retenues par rapport aux concentrations mesurées dans les sols et les eaux souterraines (diminution des incertitudes liées à la modélisation des transferts). Compte-tenu de l'absence de données sur le milieu gaz du sol, **la modélisation sera réalisée à partir des concentrations du milieu sol.** ***Toutefois, des campagnes de prélèvements sur le milieu gaz du sol sont par ailleurs préconisées (cf. chapitre 12.5.7) afin d'affermir les données et permettre de relativiser les présents calculs qui intègrent des facteurs de majoration importants.***

Les concentrations retenues sont les **concentrations maximales mesurées dans les zones de pollution qui seront laissées en place** suite aux travaux de dépollution (en dessous du seuil de coupure de 1000 mg/kg, voir le paragraphe 12.2 et hypothèses retenues au paragraphe 12.4.1).

- Sous les futurs bâtiments : **P16/1,2-2 : 344 mg/kg MS** pour la somme des fractions C10-C16 ;
- Au droit des zones extérieures : **P13/0,45-1,5 : 308 mg/kg MS** pour la somme des fractions C10-C16.

Nous ne disposons pas d'analyses TPH sur les sondages réalisés par AMETEN en 2019, (proportion de fractions aliphatiques et aromatiques). Toutefois les résultats d'analyses faites par NORISKO sur les sondages SD et SE, nous indiquent que la répartition des fractions hydrocarbures est de l'ordre de **70% d'aliphatiques et 30% d'aromatiques.** Ces répartitions nous permettent d'estimer les concentrations suivantes :

	Intérieur	Extérieur
Concentration mesurée dans la fraction C10-C16	344 mg/kg	308 mg/kg
Concentration de la fraction C10-C16 Aliphatique (70%)	240,8 mg/kg	215,6 mg/kg
Concentration de la fraction C10-C16 Aromatique (30%)	103,2 mg/kg	92,4 mg/kg

Tableau 55 : Concentrations retenues pour les sols

Dans une démarche sécuritaire, nous retenons la concentration maximale mesurée appliquée à l'ensemble du site.

- **Pour les eaux souterraines :**

Le composé retenu est le naphtalène. Il a été mesuré au droit des ouvrages PZ1, G2, G3 et G8, avec des concentrations respectives de 0,04 ; 0,02 ; 0,03 et 0,02 µg/l.

Au stade actuel, il n'est pas possible d'estimer les concentrations de polluants dans les eaux souterraines après dépollution des produits purs constituants les phases flottantes. Compte-tenu de la démarche d'amélioration des milieux, la qualité des eaux souterraines sera à terme meilleure qu'actuellement, néanmoins dans une démarche sécuritaire nous choisissons de considérer la concentration maximale telle qu'elle est mesurée actuellement.

Nous retenons donc la concentration maximale de 0,04 µg/l.

12.4.3.3 Choix des VTR

Une valeur toxicologique de référence (VTR) est un indice toxicologique qui permet, par comparaison avec l'exposition, de qualifier ou de quantifier un risque pour la santé humaine. Le mode d'élaboration des VTR dépend des données disponibles sur les mécanismes d'action toxicologique des substances et d'hypothèses communément admises. On distingue ainsi :

- des VTR « à seuil de dose » pour les substances qui provoquent, au-delà d'une certaine dose, des dommages dont la gravité est proportionnelle à la dose absorbée ;
- des VTR « sans seuil de dose » pour les substances pour lesquelles il existe une probabilité, même infime, qu'une seule molécule pénétrant dans un organisme puisse provoquer des effets néfastes.

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons aux VTR définies pour une **inhalation chronique**.

Concernant les fractions hydrocarbonées qui nous intéressent, il n'existe aucune VTR dans les bases de données couramment consultées (ANSES, US-EPA, ATSDR, OMS, Santé Canada et RIVM).

Le groupe de travail TPHCWG[1] a défini, pour chaque fraction hydrocarbonée (fractions aliphatiques et aromatiques >EC6-EC8,>EC8-EC10, >EC10-EC12, >EC12-EC16), une VTR et des paramètres physico-chimiques spécifiques. **Pour une exposition par inhalation, il existe uniquement des VTR pour les fractions ne dépassant pas 16 équivalents carbones, et pour un effet à seuil (pas de VTR pour les effets sans seuil).**

Concernant le naphtalène, nous avons recensé les VTR proposées par les organismes listés précédemment. 4 organismes proposent des VTR à seuil pour une inhalation chronique (ANSES-2013 : 37 µg/m^3 ; ATSDR-2005 : 3,5 µg/m^3 ; US EPA-1998 : 3 µg/m^3 et OEHHA-2003 : 9 µg/m^3) et 2 organismes proposent des VTR sans seuil

[1] Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group, Human Health Risk-Based Evaluation of Petroleum Release Sites: Implementing the Working Group Approach, Volume 5, June 1999.

(ANSES-2013 : 5,6.10^{-6} (µg/m^3) $^{-1}$ et l'OEHHA-2011 : 3,4.10^{-5} (µg/m^3) $^{-1}$). **Nous retenons les VTR proposées par l'ANSES suite à son expertise, conformément aux recommandations de l'INERIS.**

Le tableau ci-après présente les VTR retenues.

Substances	Voie d'exposition : inhalation									
	Durée d'exposition : chronique									
	Effet à seuil					Effet sans seuil				
	VTR	Organe cible	Organisme	Date	Expertise	VTR	Organe cible	Organisme	Date	Expertise
HCT Aliphatiques C10-C12	1 mg/m³	Perte de poids	TPHCWG	1999	Seules valeurs disponibles	-	-	-	-	-
HCT Aliphatiques C12-C16	**1 mg/m³**	Perte de poids	TPHCWG	1999		-	-	-	-	-
HCT Aromatique C10-C12	0,2 mg/m³	Perte de poids	TPHCWG	1999		-	-	-	-	-
HCT Aromatique C12-C16	**0,2 mg/m³**	Perte de poids	TPHCWG	1999		-	-	-	-	-
Naphtalène	**37 µg/m³**	Lésions non cancéreuses des épithéliums olfactifs et respiratoires	ANSES	2013	Choix de l'INERIS	**ERUi = 5,6.10^{-6} (µg.m^{-3})$^{-1}$**	Effet cancérigène	ANSES	2013	Choix de l'INERIS

Tableau 56 : Valeurs toxicologiques de références prises en compte pour les calculs de risque

12.4.3.4 Hypothèses retenues - paramètres liés au sol, à la nappe et aux aménagements

12.4.3.4.1 Paramètres liés au sol et à la nappe

Les valeurs retenues sont soit issues des données du projet, soit issues de sources bibliographiques. Elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

PARAMETRES LIES AU SOL			
Paramètres	**Valeur pris en compte**	**Unités**	**Source**
Densité du sol	1,8	g/cm³	Valeur par défaut
Distance de la source sol au dallage	0,5	m	Valeur retenue dans les hypothèses
Sol de type sable grossier sous le dallage			
Fraction de carbone organique dans le sol	0,002	Kg(CO)/Kg(MS)	Valeur par défaut pour des sables grossiers
Teneur en eau dans le sol	10	%	Valeur par défaut pour des sables grossiers
Teneur en air dans le sol	15	%	Valeur par défaut pour des sables grossiers
Porosité totale	25	%	Valeur par défaut pour des sables grossiers
Perméabilité intrinsèque des sols sous dallage	1,00E-06	cm²	Valeur bibliographique pour des sables grossiers

PARAMETRES LIES A LA NAPPE			
Paramètres	**Valeur pris en compte**	**Unités**	**Source**
Densité du sol	1,8	g/cm³	Valeur par défaut
Distance de la source nappe au dallage	0,95	m	Valeur retenue (profondeur minimale du niveau piézométrique mesuré sur le site)

12.4.3.4.2 Paramètres liés aux aménagements : scénarii étudiés

Deux scénarii sont étudiés :

- **SCENARIO 1** : Conformément au projet dans sa forme actuelle, nous réalisons en premier lieu notre calcul pour un bâtiment sans sous-sol et sans vide sanitaire, avec des logements en rez-de-chaussée ;
- **SCENARIO 2** : Ce scénario prend en compte les mêmes aménagements que dans le premier scénario, excepté la présence d'un vide sanitaire de 0,4 m sous les bâtiments.

PARAMETRES DES AMENAGEMENTS			
Paramètres	**Valeur pris en compte**	**Unités**	**Source**
Paramètres liés au transfert des gaz du milieu souterrain vers l'intérieur – SCENARIO 1			
Porosité totale du béton et des fondations	12 %, constituée de 5 % d'air et de 7% d'eau		Données bibliographiques
Épaisseur de la dalle	0,15	m	Donnée couramment prise en compte
Taux de fissures du béton	2,00E-04	-	Valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIVM
Différence de pression entre l'air des bâtiments et l'air du sol	40	g/cm/s²	Valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIVM
Surface retenue en intérieur	9	m²	Surface estimée pour une chambre (plus petite pièce avec exposition significative)
Périmètre associé à l'espace retenue en intérieur	12	m	Périmètre estimée pour une chambre (plus petite pièce avec exposition significative)
Hauteur sous plafond	2,5	m	Valeur standard
Taux de ventilation	12	fois/jour	Valeur retenue dans le cadre de l'habitat, Arrêté du 24 mars 1982
Paramètres liés au transfert des gaz du milieu souterrain vers l'intérieur – SCENARIO 2			
Epaisseur de la dalle entre le vide sanitaire et l'intérieur	0,15	m	Valeur couramment prise en compte
Nombre de fissures dans la dalle par unité de surface	2,00E-01	m²	Valeur par défaut VOLASOIL
Différence de pression entre l'air du vide sanitaire et du sol	20	g/cm/s²	Valeur par défaut VOLASOIL
Différence de pression entre l'air du bâtiment et l'air du vide sanitaire	20	g/cm/s²	Valeur par défaut VOLASOIL
Taux de fissure de la dalle entre le vide sanitaire et l'intérieur	1,00E-06	-	Valeur par défaut VOLASOIL
Perméabilité à l'air de la dalle entre le vide sanitaire et l'intérieur	9,80E-04	m²/Pa/j	Calculé à partir du nombre de fissures et du taux de fissuration
Surface de contact entre le vide sanitaire et le RDC	9	m²	Surface estimée pour une chambre (plus petite pièce avec exposition significative)
Hauteur du vide sanitaire	0,4	m	Valeur couramment prise en compte
Taux de ventilation du vide sanitaire	30	fois/jour	Valeur par défaut VOLASOIL
Paramètres liés au transfert du milieu souterrain vers l'extérieur – SCENARII 1 et 2			
Hauteur de la zone de mélange	1,5 m pour les adultes 1 m pour les enfants		Hauteur de respiration
Longueur de la zone polluée	30	m	Longueur maximale de l'étendu de la zone impactée dans le sens du vent
Vitesse du vent dans la zone de mélange	2	m/s	Valeur conservatoire

Tableau 57 : Paramètres pris en compte pour la modélisation – scénario 1 et 2

Pour évaluer le risque d'inhalation de vapeurs en extérieur, seuls les espaces sans dallage ont été modélisés.

12.4.3.5 Evaluation des concentrations dans les milieux d'exposition

12.4.3.5.1 Air ambiant intérieur

La modélisation des transferts de l'air des sols vers l'air intérieur est associée au développement d'outils datant du début des années 90. Ces outils sont très peu nombreux, les principaux utilisés en France qui intègrent et le transport diffusif et le transport convectif sont VOLASOIL (Waitz t al, 1996) et le modèle dit de « Johnson and Ettinger » (Johnson and Ettinger, 1991). D'autres outils plus simplifiés comme HESP® ne sont plus utilisés car ils ne considèrent que le flux diffusif à travers le dallage et peuvent donc dans certaines configurations sous-estimer le transfert.

Compte tenu du projet étudié (bâtiment sans niveau de sous-sol, sans vide-sanitaire), la modélisation des transferts de vapeurs dans l'air intérieur **pour le SCENARIO 1** est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991) utilisées avec une source de pollution infinie (pas de diminution au cours du temps).

Le **SCENARIO 2**, lui, est conduit sur la base des équations du modèle VOLASOIL.

Le transfert de vapeur est conditionné par un mouvement diffusif (équations de Millington and Quirk et équation de Fick) et un mouvement convectif induit par la mise en dépression du bâtiment (effet de la ventilation). Ces équations, utilisées notamment par le logiciel RISC 4.0 (octobre 2001), ont été réécrites sous Excel par nos soins.

12.4.3.5.2 Air ambiant extérieur

Pour l'air ambiant extérieur, nous utilisons le modèle dit « de la boîte » qui correspond à la modélisation du passage des polluants depuis les sols vers l'air ambiant, puis leur dilution dans une « boîte » qui correspond à un volume d'air fini. La longueur de cette boîte correspond à la longueur maximale de la source de pollution dans la direction du vent dominant, et la hauteur au niveau des voies respiratoire.

12.4.3.6 Evaluation de l'exposition (par inhalation)

Le calcul de la concentration moyenne inhalée a été réalisé avec l'équation suivante :

$$Cl_j = [Cj \times t_j \times T \times F / Tm]$$

avec : Cl_j : concentration moyenne inhalée du composé j (en mg/m³) ;
Cj : concentration du composé j dans l'air inhalé (mg/m³) ;
T : durée d'exposition (années) ;
F : fréquence d'exposition : nombre de jours d'exposition par an (jours/an) ;
t_j : fraction du temps d'exposition à la concentration Cj pendant une journée (-) ;
T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (jours).

12.4.4 Quantification des risques sanitaires

12.4.4.1.1 Méthodologie

Estimation du risque pour les effets toxiques sans seuil :

Pour les effets toxiques sans seuil, et pour des faibles expositions, l'excès de risque individuel (ERI) est calculé de la façon suivante :

ERI (inhalation) = CI x ERUi
ERI (oral) = DJE x ERUo

Les ERI s'expriment sous la forme mathématique 10^{-n}. Par exemple, un excès de risque de 10^{-5} présente la probabilité supplémentaire, par rapport à une personne non exposée, de développer un cancer pour 100 000 personnes exposées durant la vie entière.

Pour chaque scénario d'exposition, un ERI global est ensuite calculé en faisant :

- pour chaque composé, la somme des risques liés à chacune des voies d'exposition,
- la somme des risques liés à chacun des composés cancérogènes.

Il n'existe pas de niveau d'excès de risque individuel universellement acceptable. La Circulaire du ministère en charge de l'environnement datée du 8 février 2007, relative aux sites et sols pollués et aux modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués, considère que le niveau de risque « usuellement [retenue] au niveau international par les organismes en charge de la protection de la santé », de 10^{-5} est acceptable.

En cas d'exposition conjointe à plusieurs agents dangereux, l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis (US-EPA) recommande de sommer l'ensemble des excès de risque individuels (ERI), quels que soient le type de cancer et l'organe touché, de manière à apprécier le risque cancérigène global qui pèse sur la population exposée.

Estimation du risque pour les effets toxiques à seuil :

Pour les effets toxiques à seuil, un quotient de danger (QD) est défini pour chaque voie d'exposition de la manière suivante : $QD_{i,ING} = \frac{DJE_{i,ING}}{RfDi}$ *et* $QD_{i,INH} = \frac{CI_{i,INH}}{RfCi}$

Un QD inférieur ou égal à 1 signifie que l'exposition de la population n'atteint pas le seuil de dose à partir duquel peuvent apparaître des effets indésirables pour la santé humaine. A l'inverse, un ratio supérieur à 1 signifie que l'effet toxique peut se déclarer dans la population, sans qu'il soit possible d'estimer la probabilité de survenue de cet événement.

Malgré la position récente de l'Environmental Protection Agency des Etats-Unis (US-EPA) qui recommande l'additivité des QD uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique et le même organe cible, en l'absence de doctrine unique sur l'additivité des risques et compte tenu de la méconnaissance à l'heure actuelle des mécanismes d'action pour la majorité des substances, nous procéderons à l'additivité des quotients de danger.

12.4.4.1.2 Résultats

12.4.4.1.2.1 Résultats du scénario 1 – projet sans mesures de gestion complémentaire

Les résultats obtenus pour la voie d'exposition « Inhalation de vapeurs en intérieur ET en extérieur » sont présentés dans le Tableau 58.

Pour les sols :

Scénario 1: Bâtiment d'habitation en RDC sans sous-sol et sans vide sanitaire, sans revêtement extérieur	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	
Voies d'exposition	**Adulte 1**	**Enfant 1**	**Adulte 1**	**Enfant 1**
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	2,2E+00	2,1E+00	0,0E+00	0,0E+00
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR sans dallage	3,1E-04	1,1E-03	0,0E+00	0,0E+00
TOTAL	2,2E+00	2,1E+00	0,0E+00	0,0E+00

Risques acceptables
Risques non acceptables

Pour les eaux souterraines :

Scénario : Bâtiment d'habitation en RDC sans sous-sol et sans vide sanitaire, sans revêtement extérieur	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	
Voies d'exposition	**Adulte 1**	**Enfant 1**	**Adulte 1**	**Enfant 1**
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	8,6E-05	8,5E-05	1,2E-10	2,4E-11
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR sans dallage	1,2E-08	4,3E-08	1,7E-14	1,2E-14
TOTAL	8,6E-05	8,5E-05	1,2E-10	2,4E-11

Risques acceptables
Risques non acceptables

Pour l'ensemble des sources de pollutions :

Scénario 1: Bâtiment d'habitation en RDC sans sous-sol et sans vide sanitaire, sans revêtement extérieur	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	
Voies d'exposition	**Adulte 1**	**Enfant 1**	**Adulte 1**	**Enfant 1**
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	2,2E+00	2,1E+00	1,2E-10	2,4E-11
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR, sans dallage	3,1E-04	1,1E-03	1,7E-14	1,2E-14
TOTAL	2,2E+00	2,1E+00	1,2E-10	2,4E-11

Risques acceptables
Risques non acceptables

Tableau 58 : Synthèse des QD et ERI pour le scenario 1 considéré

L'analyse des risques résiduels montre que, avec les hypothèses constructives retenues et les données disponibles à la date de l'étude, **le projet n'est pas compatible avec les concentrations résiduelles qui seront laissées en place après travaux de dépollution : les risques ne sont pas acceptables en ce qui concerne les inhalations de vapeur en intérieur et nécessitent la mise en place de mesures de gestion complémentaires.**

12.4.4.1.2.2 Résultats du scénario 2 – projet avec ajout d'un vide-sanitaire

Un nouveau calcul a été réalisé sur la base des mêmes éléments de projets présentés précédemment mais en intégrant un **vide sanitaire de 0,4 m sous les bâtiments**.

Pour les sols :

Scénario 2 - Bâtiment d'habitation en RDC sans sous-sol mais avec vide sanitaire de 0,4 m, sans revêtement extérieur	Effets toxiques à seuil Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	
Voies d'exposition	**Adulte 1**	**Enfant 1**	**Adulte 1**	**Enfant 1**
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	9,5E-02	9,4E-02	0,0E+00	0,0E+00
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR sans dallage	3,1E-04	1,1E-03	0,0E+00	0,0E+00
TOTAL	9,6E-02	9,5E-02	0,0E+00	0,0E+00

Risques acceptables
Risques non acceptables

Pour les eaux souterraines :

Scénario 2 - Bâtiment d'habitation en RDC sans sous-sol mais avec vide sanitaire de 0,4 m, sans revêtement extérieur	Effets toxiques à seuil Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	
Voies d'exposition	**Adulte 1**	**Enfant 1**	**Adulte 1**	**Enfant 1**
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	9,5E-06	9,3E-06	1,3E-11	2,6E-12
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR sans dallage	1,2E-08	4,3E-08	1,7E-14	1,2E-14
TOTAL	9,5E-06	9,4E-06	1,3E-11	2,7E-12

Risques acceptables
Risques non acceptables

Pour l'ensemble des sources de pollutions :

Scénario 2 - Bâtiment d'habitation en RDC sans sous-sol mais avec vide sanitaire de 0,4 m, sans revêtement extérieur	Effets toxiques à seuil Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	
Voies d'exposition	**Adulte 1**	**Enfant 1**	**Adulte 1**	**Enfant 1**
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	9,5E-02	9,4E-02	1,3E-11	2,6E-12
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR sans dallage	3,1E-04	1,1E-03	1,7E-14	1,2E-14
TOTAL	9,6E-02	9,5E-02	1,3E-11	2,7E-12

Risques acceptables
Risques non acceptables

Tableau 59 : Synthèse des QD et ERI pour le scénario 2 considéré

D'après les données disponibles à la date de l'étude, l'analyse des risques résiduels montre que **la mise en place d'un vide-sanitaire sous les bâtiments** en plus des hypothèses constructives initiales retenues **permet de garantir un niveau de risque conforme aux usages envisagés** : **le projet serait alors compatible avec les concentrations résiduelles qui seront laissées en place après travaux de dépollution : les risques sont ici acceptables en ce qui concerne les inhalations de vapeur en intérieur.**

12.4.4.1.3 Discussion des incertitudes

12.4.4.1.3.1 Sources de pollution

Il existe actuellement des incertitudes sur les extensions latérales et surtout verticales de certains impacts, pouvant aboutir à laisser en place des pollutions non identifiées au stade de notre étude.

Même s'il est prévu, le traitement de la phase flottante ne pourra pas être efficace à 100%. Les résidus de phase pourront donc également générer des émanations de composés volatils (vapeurs/gaz) non prises en compte à ce stade dans les calculs.

De ce fait, des analyses des gaz du sol pendant la phase de traitement devront être réalisées avec :

- **la mise en place d'un réseau suffisant de piézairs avant le lancement des travaux ;**
- **la réalisation d'à minima 2 campagnes de prélèvements d'échantillons de gaz du sol.**

Ces investigations devront permettre de recentrer l'ARR sur données de métrologie (et relativiser les présents calculs qui intègrent des facteurs de majoration importants liés à la modélisation de transfert SOL->Gaz du Sol).

En outre, elles permettront de suivre la résorption du dégazage pendant et en fin de travaux de dépollution.

L'analyse des risques résiduels devra être mise à jour après réalisation de ces investigations complémentaires et du suivi en phase chantier sur les gaz du sol.

12.4.4.1.3.2 Concentrations retenues

Les calculs réalisés ont retenus la concentration maximale mesurée en C10-C16 dans les zones de pollution qui seront laissées en place suite aux travaux de dépollution.

Afin de tester plusieurs approches, nous avons également réalisé le calcul avec une approche statique pour le choix des concentrations retenues. Nous avons donc calculé le ratio moyen de la fraction C10-C16 dans les sols impactés laissés en place (pour les échantillons présentant une concentration en [HCT totaux] inférieure au seuil de coupure de 1000 mg/kg). **Ce ratio est de 9%.** En prenant la valeur maximale de la gamme de concentrations laissées en place (1000 mg/kg), on obtient une concentration de 90 mg/kg pour la fraction C10-C16. En appliquant les répartitions issues des analyses THP réalisées par NORISKO, avec 70% d'aliphatique et 30% d'aromatique sur cette fraction, on obtient les concentrations suivantes : 63 mg/kg MS aliphatique et 27 mg/kg MS aromatique.

En appliquant ces concentrations et en conservant les autres paramètres de la simulation (Scénario 1) on obtient les résultats suivants pour les sols :

Scénario 1: Bâtiment d'habitation en RDC sans sous-sol et sans vide sanitaire, sans revêtement extérieur - concentrations moyennes	Effets toxiques à seuil non cancérigènes Quotient de danger (QD)		Effets toxiques sans seuil Excès de risques individuels (ERI)	
Voies d'exposition	**Adulte 1**	**Enfant 1**	**Adulte 1**	**Enfant 1**
INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR, niveau principal choisi	1,2E+00	1,2E+00	0,0E+00	0,0E+00
INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR sans dallage	1,8E-04	6,2E-04	0,0E+00	0,0E+00
TOTAL	1,2E+00	1,2E+00	0,0E+00	0,0E+00

Risques acceptables
Risques non acceptables

Tableau 60 : Calculs de risques pour les sols avec les concentrations moyennes retenues – Scénario 1

Les résultats pour l'eau souterraine restent les mêmes, les concentrations prises en compte pour le Naphtalène restant inchangées.

Les risques sont inacceptables même avec cette approche, pourtant moins sécuritaire que celle adoptée précédemment.

12.4.4.1.3.3 Toxicité des composés

Nous rappelons qu'il n'existe pas de VTR proposée dans les bases de données couramment consultées pour les fractions hydrocarbonées. Nous avons donc pris en compte l'unique VTR décrite issue du groupe de travail TPHCWG.

Dans les calculs de risques, les fractions à considérer sont les fractions C10-C12 et C12-C16. Toutefois, nous ne disposons que de mesures de la fraction C10-C16 mais nous ne disposons pas de mesures différenciées pour ces deux fractions. Dans ces mesures, Norisko disposait des fractions C10-C12 et C12-C20. La répartition entre les fractions C10-C12 et C12-C20 dans les mesures de Norisko est respectivement de 5% contre 95 %. Ceci nous amène à dire que les fractions les plus représentées sont celles supérieures à C12.

De ce fait, nous avons considéré dans nos calculs :

- Une concentration nulle pour la fraction C10-C12
- Une concentration C12-C16 correspondant aux concentrations mesurées de la fraction C10-C16, réparties en 70% alphatique-30% aromatique.

12.4.4.1.3.4 Transport de vapeurs vers l'air intérieur

12.4.4.1.3.4.1 Taux de ventilation

Le taux de ventilation prévu pour les habitations dans le projet ne nous a pas été communiqué. Nous avons donc retenu une valeur de 12 renouvellements par jour, valeur retenue dans le cadre de l'habitat, Arrêté du 24 mars 1982.

Ce paramètre est très sensible car une diminution par 2 du nombre de renouvellement multiplie le risque par 2. Il appartiendra donc au Maitre d'Ouvrage de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour que les habitations soient correctement ventilées.

12.4.4.1.3.4.2 Caractéristiques du dallage

Les paramètres du bâtiment retenus sont les suivants :

- porosité du béton : 12 %
- teneur en eau : 7 %
- épaisseur du dallage : 15 cm

Ces paramètres permettent de calculer un ratio Deff/D, qui correspond à l'inverse de la tortuosité, de l'ordre de 100. Ce ratio varie dans la littérature de 103 (valeur minimale pour un béton de rapport E/C 0.5) à 1855 (valeur maximale pour un béton de rapport E/C 0.2).

Il apparaît que les caractéristiques retenues pour le béton sont conservatoires pour l'estimation du flux diffusif et impactent peu sur les niveaux de risques évalués.

12.4.4.1.3.4.3 Taux de fissuration

Le taux de fissuration retenu pour le calcul est de 2.10^{-4}, valeur proposée par défaut par l'US-EPA et le RIVM. La prise en compte d'un taux de fissuration de 10^{-3} (valeur par défaut proposée initialement par Johnson & Ettinger, 1991 et considérée comme la meilleure estimation de ce paramètre par Johnson &Ettinger, 2002) conduit à de très faibles modifications des résultats.

En l'absence de connaissance plus approfondie de ce paramètre, toutes choses égales par ailleurs, nous jugeons que les incertitudes induites ne sont pas d'ordre à remettre en cause les conclusions formulées sur l'acceptabilité des risques.

12.4.4.1.3.4.4 Choix d'une source infinie

Les sources de pollution organiques (HCT) ont été considérées comme infinies dans le temps. Nous avons retenu dans les calculs les concentrations mesurées à l'instant « t » du diagnostic, sans prendre en compte la volatilisation/dégradation/migration des substances.

Cette hypothèse est fortement majorante dans le cadre de notre étude, car nous sommes en présence de substances volatiles. Les teneurs vont donc diminuer sur la période de modélisation prise en compte (30 ans).

12.4.4.1.3.5 Caractéristiques des sols

Les caractéristiques du sol ont une **forte influence sur les niveaux de risque calculés, puisque qu'une diminution d'un facteur 10 de la perméabilité conduit à diviser par 2 les niveaux de risques.**

La nature du terrain est bien connue grâce à l'ensemble des investigations réalisées sur le site. En revanche, **aucune mesure précise de la perméabilité des terrains ne nous a été transmise à ce stade et des incertitudes persistent sur les perméabilités prises en compte.**

12.4.4.1.3.6 Paramètres d'exposition

Nous avons pris en compte des paramètres sécuritaires, considérant que les cibles vont vivre 30 ans au même endroit. **Ce chiffre est surestimé compte-tenu de la mobilité résidentielle actuelle.**

12.5 A330 - Identification des options de gestion possibles et bilan couts/avantages spécifique à cette opération

12.5.1 Notions fondamentales

La gestion des problématiques de pollutions identifiées au droit du site n'est possible que par l'appréhension de quatre notions fondamentales :

- **La notion de pollution concentrée** : se dit de concentrations chimiques d'une ou plusieurs substances qui sont significativement supérieures aux concentrations chimiques des substances identiques qui l'entourent ou à proximité immédiate de ce volume. Ces volumes sont à soustraire de la pollution diffuse ;
- **La notion d'impact sanitaire** : Cette notion permet d'appréhender le risque sanitaire encouru pour les personnes amenées à côtoyer le site en fonction du projet d'aménagement envisagé (résidentiel – usage sensible) et de définir les actions correctives à mettre en œuvre afin de s'affranchir d'un tel risque (définition de seuils sanitaires) ;
- **La notion d'impact environnemental** : La notion d'impact environnemental concerne à la fois la qualité des sols vis-à-vis d'un fond géochimique local mais également la capacité de transfert de pollution de la matrice sol vers les eaux souterraines ;
- **La notion de gestion de déblais / déchets :** Cette notion permet d'appréhender les opérations d'excavations dans le cadre du projet d'aménagement futur ainsi que la gestion à mettre en place notamment vis-à-vis des valeurs limites fixées par l'Arrêté du 12 décembre 2014.

12.5.1.1 Mesure de gestion des pollutions concentrées et produits purs

Les sources de pollutions concentrées identifiées sur le site sont catégorisées en 3 types qui impliquent des options de gestion différentes :

12.5.1.1.1 Les pollutions concentrées

- **Les pollutions concentrées organiques** :
  - **Hydrocarbures (HCT)** pour lesquels un seuil de coupure a été défini à 500 mg/kg pour la tranche 0-0,5 m/TN et à 1000 mg/kg MS au-delà de -0,5 m/TN. Cette pollution organique en HCT représente un volume total de 4 400 m^3, soit environ 7925 tonnes ;
  - **Points chauds de pollution organique** : HAP (zones n°2 et n°7 autour des sondages SI et SB de Géoplus) représentant un volume total de 400 m^3, soit environ 720 tonnes ;
  - **Point chaud de pollution en PCB** (autour du sondage P2 Géoplus) : 65 m^3 soit environ 115 tonnes ;

    → Soit un total d'environ 4 865 m^3 (8 757 tonnes) de matériaux impactés en pollution organique.
- **Les pollutions concentrées inorganiques** :
  - **Métaux lourds** pour lesquels les seuils de coupures suivants ont été définis : Cu :80 mg/kg MS ; As : 20 mg/kg MS ; Pb : 100 mg/kg MS ; Zn : 140 mg/kg MS et Hg : 1 mg/kg MS. Le total de matériaux impactés en pollutions inorganiques est estimé à 9 400 m^3 soit environ 16 930 tonnes.

    → Soit un total d'environ 9 400 m^3 (16 920 tonnes) de matériaux impactés en pollution inorganique.

L'ensemble des pollutions concentrées (organiques et inorganiques) représente environ 14 265 m^3 (25 680 tonnes) qui devront être purgés.

12.5.1.1.2 Les produits purs (phase organique flottante) et terres associées

La masse volume de produits purs sur site (phase organique flottante) est estimé à environ 1100 tonnes, dont environ 800 tonnes sont situées à des profondeurs inférieures à 4 m/TN et 300 tonnes sont situées à des profondeurs supérieures à 4 m/TN.

La masse de terres associée à cette phase pure peut être estimée au total à environ 8 700 tonnes (pour une densité des matériaux de 1,8) dont 6 400 tonnes sont situées à des profondeurs inférieures à 4 m/TN et 2 300 tonnes sont situées à des profondeurs supérieures à 4 m/TN.

Nous proposons d'étudier deux axes de travail pour envisager la suppression de la phase pure :

- **Dans les zones facilement accessibles**, c'est-à-dire où la nappe (et la phase organique flottante) est à une profondeur inférieure à 4 m/TN (zones en bleu sur la carte ci-dessous) **: purge par excavation des terres associées à la phase**. Le volume de terres contaminées par la phase et accessible est estimé à environ 6 400 tonnes ;
- **Dans les zones difficilement accessibles,** où la nappe est à une profondeur supérieure à 4 m/TN (zones en orangé sur la carte ci-dessous) : **pompage et traitement du produit pur.** Le volume de phase non accessible représente 300 tonnes environ.

12.5.1.1.3 Synthèse des volumes de matériaux à gérer concernés par du produit pur et par des pollutions concentrées

Le tableau suivant reprend les estimatifs de terres contaminées et de produits purs à mettre en gestion au sein des différents scénarios qui seront établis au Bilan Coût Avantage :

	TERRES EN GESTION						**PHASE PURE** à une profondeur supérieure à 4 m - traitement par pompage sur site
	Pollutions concentrées sur site					Terres contaminées par la phase pure accessible sur site (<4 m)	
	HCT	**HAP**	**Métaux**	**PCB**	**TOTAL pollutions concentrées**		
Volume (m^3)	4 400	400	9 400	65	14 265	3 500	-
Masse (tonnes)	7 925	720	16 930	115	25 680	6 400	300

** remarques : Dans le cas de la présence de pollutions organique et inorganique (métaux), le volume est comptabilisé en tant que pollution organique. Dans le cas de la présence de terre contaminée par la phase pure et d'une pollution concentrée, le volume est compatibilisé en tant que terre contaminée par la phase pure.*

Tableau 61 : Volumes et masses des pollutions à gérer sur site

NOTA : ces calculs sont empreints de grosses incertitudes à ce stade : données topographiques et densité du réseau piézométrique du site conditionnant les calculs de profondeur de nappe ; continuité des lentilles flottantes ; non prise en compte du battement de la nappe pouvant avoir une incidence sur l'épaisseur de terrains associés à la phase dans la frange capillaire ; faibles connaissances sur la composition chimique des phases selon les secteurs...

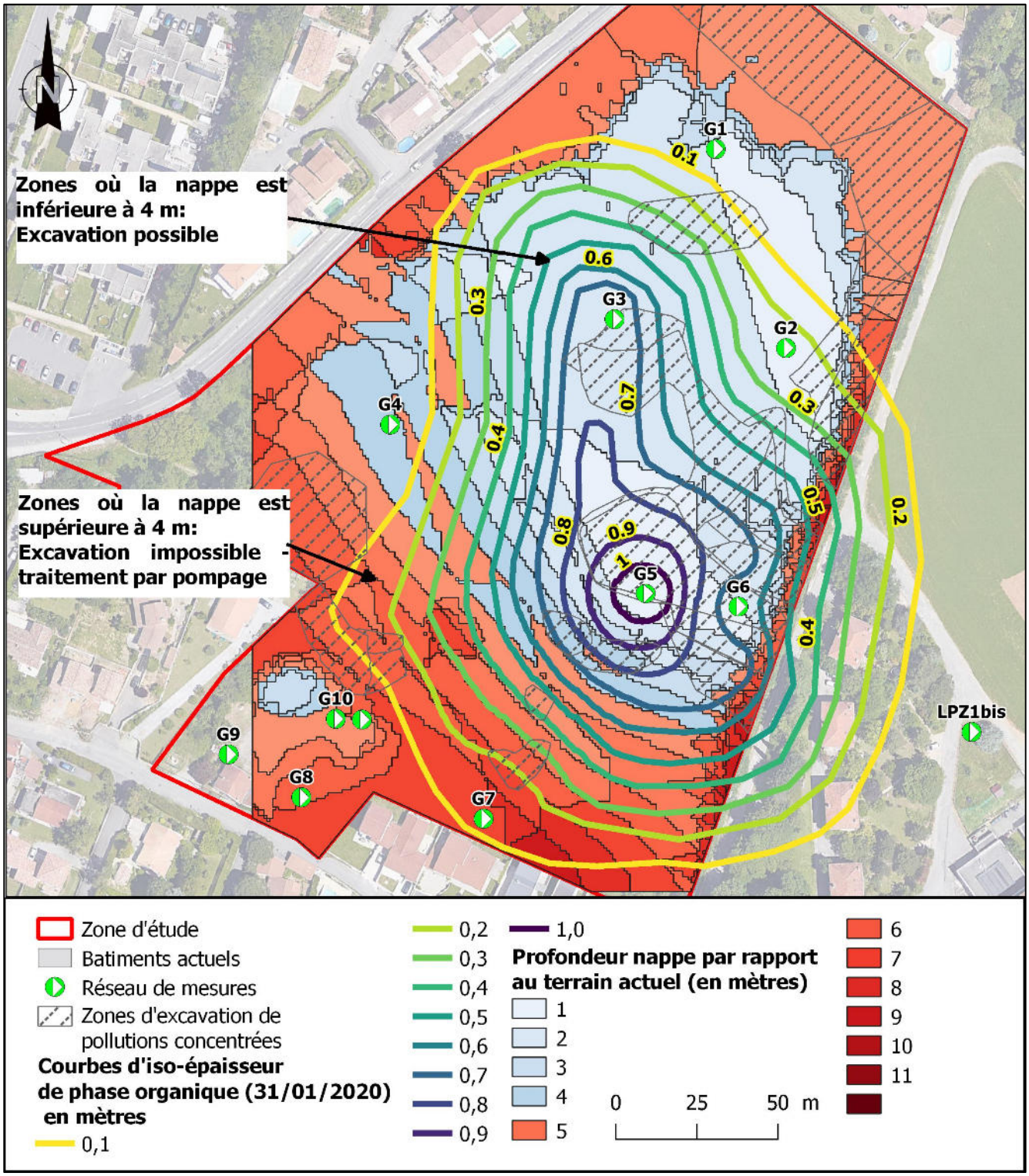


Figure 79 : Profondeur de la nappe par rapport au terrain actuel et possibilités d'excavation

12.5.1.1.4 Les autres problématiques à gérer

D'autre part, on souligne également la présence d'autres problématiques qu'il sera nécessaire de gérer sur ce site, préalablement à sa reconversion :

- **La présence de déchets divers** (Déchets Industriels Spéciaux (DIS) ou banaux (DIB) ou déchets du BTP), avec notamment des débris de plaques en fibrociment (amiante), des bidons de produits chimiques encore pleins… Il a été détecté sur plusieurs sondages la présence de déchets au sein des terres du site. Un tri par criblage pourra être envisagé pour permettre leur séparation et gestion différenciée.
- **La présence de cuves toujours en place** qui devront être dégazées, inertées et évacuées.

Ces problématiques nécessitent une gestion particulière à la charge du Maitre d'Ouvrage. Un diagnostic déchet/amiante devra être réalisé avant démolition afin de définir les tonnages concernés. Les déchets DIS et les cuves devront être évacuées vers des filières spécialisées.

12.5.1.2 Mesure de gestion de l'impact sanitaire

Le risque sanitaire sur le site est lié à :

- **Une exposition des futurs usagers aux vapeurs résiduelles post-traitement pour les pollutions organiques en milieu confiné**. Afin de supprimer ce risque, deux actions simultanées sont envisagées dans le plan de gestion :
    - **Supprimer les pollutions concentrées et la phase pure**, par purge/excavation (dans les secteurs inférieurs à 4 m de profondeur) et par pompage/traitement (dans les secteurs supérieurs à 4 m de profondeur) ;
    - **Limiter la diffusion des éléments volatils** (naphtalènes, hydrocarbures) en milieu confiné en adaptant le projet par :
        - La mise en place mesure constructives adaptées. A ce stade du projet, la mise en place d'un vide-sanitaire de 0,4 m sous les bâtiments en RDC permettrait d'écarter le risque sanitaire par inhalation (cf. conclusion du scénario n°2 pris en compte dans l'ARR au ***chapitre 12.4***) ;
        - Et/ou la modification de la configuration spatiale du schéma d'aménagement, en priorisant, entre autre, les constructions sur garage au droit des zones contaminées résiduelles. Ce point devra être étudié dans le cadre de la recherche des optimisations à mener au sein du Plan de Conception de Travaux (Phase PRO de la mission de Maîtrise d'œuvre).
- **Une exposition des futurs usagers aux poussières de sols chargés en métaux lourds et via la consommation de végétaux autoproduits. Afin de supprimer ce risque, deux actions peuvent être envisagées :**
    - **Scénario 1 :** supprimer les pollutions concentrées et représentant un risque pour la santé des usagers ;
    - **Scénario 2 :** limiter la diffusion, par la mise en œuvre d'un recouvrement de surface et mise en place de servitudes et restriction d'usage concernant les jardins potagers et arbres fruitiers (sauf en hors-sol).

D'autre part, l'impact sanitaire est empreint à ce stade de nombreuses incertitudes qu'il sera nécessaire de lever avant/pendant les travaux de dépollution :

- **Les concentrations en polluants volatils dans les gaz du sol devront être connues :** des campagnes de prélèvements sur le milieu gaz du sol devront être réalisées afin d'affermir les données et l'ARR prédictive ;

- **L'origine du mercure retrouvé sur le site dans l'angle nord-est (sondage P07) à une concentration importante, reste inconnue à ce stade** et pourrait provenir d'une source encore plus concentrée et/ou plus étendue. Compte-tenu de la très forte concentration retrouvée en ce point et du caractère volatil de ce composé pouvant engendrer des risques sanitaires, **des investigations complémentaires devront être réalisées dans ce secteur avant les travaux, afin de définir les extensions latérales et verticales de cet impact.**

12.5.1.3 Mesure de gestion de l'impact environnemental

A la vue des pollutions identifiées et du projet, l'impact environnemental est représenté par :

- **L'infiltration des eaux pluviales actuellement envisagée dans le projet** au droit de noues d'infiltration, qui pourrait entrainer une accélération de la mobilisation des pollutions vers la nappe. A ce stade, l'infiltration des eaux pluviales est donc proscrite et devra être étudiée plus finement au sein du Plan de Conception de Travaux (Phase PRO de la mission de Maîtrise d'œuvre), pour viser son positionnement en dehors des contaminations résiduelles.
- **La présence d'une phase flottante au toit de la nappe**, **sa dilution ou dégradation et sa migration vers l'aval hydrogéologique**. De ce fait, **les objectifs des travaux de dépollution devront viser** :
    - La suppression de la phase flottante au droit du site ;
    - Le blocage de la diffusion de la phase en aval hydrogéologique ;
    - Si nécessaire, la mise en place d'un traitement de la phase dissoute
    - Le constat d'amélioration du milieu.

  Dans l'attente de ces travaux et de leurs résultats, il est nécessaire de :

    - Poursuivre le suivi de la qualité des eaux souterraines en dehors du site ;
    - Mettre en place et/ou maintenir des servitudes sur l'usage de l'eau en aval hydrogéologique ;
    - Réaliser une Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) hors-site, afin de garantir l'absence de risques sanitaires pour les usages ;
    - Identifier la gouvernance pour la gestion hors-site des problématiques rencontrées (DREAL, ARS, ville de Bourg-Lès-Valence, site orphelin ADEME ?).

12.5.1.4 Gestion de la notion de déblais et de déchets

Sur 33 échantillons analysés suivant l'ensemble des paramètres de définition d'un déchet inerte au sens de l'Arrêté Ministérielle du 12/12/2014, nous avons :

- **27 qui peuvent être définis comme inertes = 82%**
- 1 dont les teneurs en Plomb sur brut intègre les pollutions concentrées et n'est pas à considérer comme matériaux inertes,
- 4 dont les teneurs en métaux sur bruts et éluat sont intégrés aux pollutions concentrées et sont considérées comme des déchets non dangereux à dangereux.

Ainsi, en dehors des pollutions concentrées, nous pouvons considérer que les terres du site sont majoritairement, voire totalement inertes.

Considérant cette analyse et à défaut de plan définitif d'aménagement et de plan de terrassement, le présent plan de gestion ne traitera pas de la gestion des déblais de terrassement, celle-ci ne représentant pas un enjeu, au vu du caractère inerte des matériaux en dehors des zones de pollution.

Il se focalisera sur le traitement des pollutions concentrées et leurs possibilités de recyclage en interne au site et dans le projet de construction des infrastructures.

Les travaux de purge et excavation visant à soustraire les pollutions concentrées facilement accessibles du site, nécessiteront néanmoins la prise en charge de matériaux inertes complémentaires (liés aux talutages et/ ou à la présence de couverture inertes). Le plan de gestion prévoit leur tri, sélection analytique et réutilisation pour le remblaiement partiel de fouilles crées.

Le tableau suivant reprend l'estimation du volume d'excavation à mettre en tri et gestion avec les quantités estimatives de matériaux inertes dégagés en bout de chaine de tri.

	Surface de terrassement (m²)	Profondeur moyenne (m)	Volume de terrassement (m3)	Volume de matériaux contaminés (m3)	Volume de matériaux inertes triés (m3)
SC1	**25 120**	**1,5**	**37 680**	**17 765**	**19 915**
SC2	**12 981**	**2,0**	**25 962**	**8 365**	**17 597**

Tableau 62 : volumes de matériaux inertes ou non inertes concernés par des excavations

12.5.1.5 Seuils de gestion retenus

Les seuils de gestion retenus sont rappelés dans le tableau ci-dessous pour les milieux sol et eaux souterraines :

Seuil de gestion retenu pour le milieu SOL	**Hydrocarbures**	**Cuivre**	**Arsenic**	**Plomb**	**Zinc**	**Mercure**	**PCB**	**HAP**
Seuil de coupure pour les sols < 0,5 m – en mg/kg MS	500	>80	>20	>100	>140	>1	Suppression de la totalité des matériaux impactés	Suppression de la totalité des matériaux impactés
Seuil de coupure pour les sols >0,5 m/TN – en mg/kg MS	1000	>80	>20	>100	>140	>1		
Seuil de gestion retenu pour le milieu EAU	**Suppression de la totalité de la phase organique flottante et respect des valeurs de l'arrêté du 11/11/2007**							

Tableau 63 : Rappel des seuils de gestion des milieux Sol et Eau

Ces seuils sont des seuils de gestion des pollutions concentrés. Néanmoins, les actions prioritaires à mener dans le cadre de la réhabilitation du site qu'est la gestion des pollutions concentrées permettra par ailleurs d'améliorer l'aspect sanitaire du projet de reconversion. En effet, on retient qu'en considérant ces seuils de gestion, les pollutions résiduelles seront :

- compatibles avec un usage résidentiel sur vide-sanitaire, sous réserve de diminuer les incertitudes de mesures,
- et compatibles avec les valeurs réglementaires définies dans le milieu Eau.

La réception des travaux devra être validée avec :

- L'atteinte des objectifs environnementaux au niveau de la nappe ;
- Les résultats des bords et fonds de fouille au niveau des zones impactées dans le milieu sol ;
- Les conclusions de l'ARR fin de travaux établies sur les mesures de gaz du sol suite aux travaux de traitement de la nappe.

12.5.2 Mesures de gestion et dispositions hors bilan coûts/avantages

Compte-tenu des problématiques identifiées au droit du site et du projet d'aménagement envisagé (usage résidentiel), des mesures de gestion simples peuvent être mises en place de manière à s'affranchir d'une partie des voies d'exposition identifiées dans le cadre du schéma conceptuel sans pour autant avoir une influence sur les travaux de dépollution.

Le **scénario 2,** décrit précédemment, vise à supprimer l'exposition des futurs usagers aux poussières de sol chargées en métaux lourds, en limitant la diffusion par *la mise en œuvre d'un recouvrement de surface et mise en place de servitudes et restrictions d'usages.*

Le scénario (**scénario 1**) permet de supprimer toutes les pollutions concentrées, aussi bien organiques qu'inorganiques et permettrait (sous réserve des calculs de réception obtenus à l'ARR post travaux) d'éviter la mise en place de ce type de prescriptions résiduelles.

Les mesures applicables aux **scénarios** sont alors présentées dans le tableau suivant.

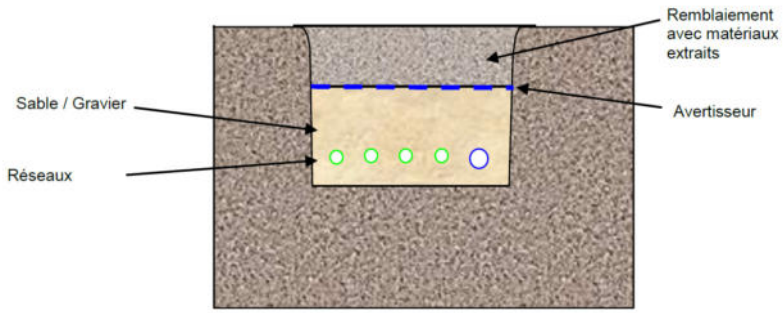
***Mesures de gestion simples :* dispositions constructives à inscrire aux servitudes**	***Scénario concerné***	***Commentaires***
Mise en place de **mesures constructives adaptées** (de type vide sanitaire d'un minima de 40 cm ou de garage en RDC)	**1 & 2**	La mise en place de vide sanitaires et de garage en rez-de-chaussée a pour objectif de garantir l'atteinte des objectifs de mise en comptabilité sanitaire des lieux de vie intérieurs, face aux émanations résiduelles potentielles des contaminations incluses dans la phase dissoute des eaux souterraines.
Recouvrement des sols impactés par : - Des matériaux sains avec une épaisseur minimum de 30 cm, - Des parkings et/ou des voiries (bitume, enrobé), - Un bâtiment.	**2**	La mise en place de cette mesure de gestion permet de s'affranchir des voies de transfert liées à l'inhalation et l'ingestion de poussières de sols.
Absence de jardins potagers (à l'exception des jardins potagers hors sol) et d'arbres fruitiers (à l'exception de mise en place de dispositions spécifiques concernant notamment l'apport de matériaux sains au niveau de la zone de développement racinaire).	**2**	Compte-tenu du passif industriel du site, des pollutions résiduelles qui seront laissées en place dans les sols à l'issue du traitement et de l'impact identifié sur les eaux souterraines, la mise en place de jardins potagers et d'arbres fruitiers sera à proscrire. En effet, l'impact sanitaire associé à l'ingestion de fruits et légumes produits au droit du site n'a pas été étudié. Ainsi, dans le cadre du projet d'aménagement il conviendra : - Soit d'appliquer les mesures de gestion simples décrites ci-contre, - Soit d'étudier l'impact sanitaire lié à cette voie d'exposition après la phase de dépollution du site, avant de statuer sur la mise en œuvre de cette mesure de gestion simple.
Canalisations d'adduction d'eau potable non enterrées ou en matériau étanche aux composés volatils et posées dans des remblais propres au-dessus du niveau des plus hautes eaux souterraines.	**1 & 2**	Le transfert par les conduites enterrées (perméation et contamination eau potable) des substances observées au droit du site n'est pas exclu dans le cadre de cette étude. Dans ce cadre, la mise en œuvre de réseaux enterrés devra suivre la coupe de principe suivante :  La procédure qui sera suivie pour la pose des canalisations d'eau potable et d'arrosage sera la suivante : - Excavation des terres, - Mise en gestion des déblais conformément à la législation en vigueur, - Mise en place du géotextile avertisseur en fond de fouille et sur les parois, - Pose du réseau, - Remblaiement de la fouille avec des matériaux d'apport sains.
Interdiction d'infiltration des eaux pluviales au droit des zones contaminées résiduelles	**2**	Le projet d'aménagement devra permettre d'éviter tout système d'infiltration des eaux pluviales au droit des zones concernées par les pollutions concentrées en métaux lourds ou les éventuelles pollutions en hydrocarbures résiduelles.
Interdiction de puits et d'usage des eaux souterraines sur le site	**1 & 2**	Ces mesures permettent de s'affranchir des voies d'exposition suivantes : - Le contact direct d'eaux (cutané), - L'ingestion d'eau souterraines à partir de puits.

Tableau 64 : Mesures de gestions simples permettant de s'affranchir de certains scénarii d'expositions

Après la mise en place de ces mesures de gestion simples, le schéma conceptuel sur site ne retient plus que le scénario d'exposition concernant l'inhalation de substances volatiles en milieu intérieur.

12.5.3 Mesures de gestion faisant l'objet d'un BCA - options envisageables

12.5.3.1 Présentation

Le plan de gestion vise à proposer des scénarii permettant de concilier la gestion de l'impact sanitaire (mise en compatibilité sanitaire du site avec son usage résidentiel futur) et la gestion de l'impact environnemental. Dans cette optique, deux scénarios peuvent être envisagés et permettront de supprimer l'exposition future des usagers, tout en améliorant la qualité des milieux. Ces deux scénarios sont les suivants :

- **Scénario SC1 : Viabilisation maximale du tènement par suppression des pollutions organiques et inorganiques concentrées.**

  Ce scénario comprend :

  - La suppression des pollutions concentrées organiques et inorganiques ;
  - La suppression de la phase pure ;
  - La mise en place de mesures constructives adaptées (vide sanitaire) et/ou la modification de la configuration spatiale du schéma d'aménagement (constructions sur garages au droit des zones contaminées résiduelles).

- **Scénario SC2 : Suppression des seules pollutions organiques concentrées et contrôle des voies de transferts pour les pollutions inorganiques et organiques résiduelles.**

  Ce scénario comprend :

  - La suppression des pollutions concentrées organiques ;
  - La suppression de la phase pure ;
  - La mise en place de mesures constructives adaptées (vide sanitaire) et/ou la modification de la configuration spatiale du schéma d'aménagement (constructions sur garages au droit des zones contaminées résiduelles).
  - Le recouvrement des surfaces impactées en composés inorganiques et la mise en place de servitudes et restriction d'usage concernant les jardins potagers, les arbres fruitiers (sauf en hors-sol) et l'infiltration des eaux pluviales.

L'objectif du plan de gestion est de préciser l'ensemble des modalités d'actions à entreprendre pour rendre compatible le projet d'aménagement (usage résidentiel) avec les contraintes rencontrées sur l'ensemble du site et d'y associer des coûts.

Dans le cadre de la réhabilitation du site, les notions suivantes peuvent être intégrées à la conception des scénarii de réhabilitation :

Suppression de la source de contamination ?	Suppression des voies de transfert ?	Modification des cibles ?
OUI Cette action est à mener sur les sols et les eaux souterraines pour garantir la compatibilité environnementale et sanitaire du site	**OUI** en complément des actions sur la source, des mesures constructives seront à prévoir, notamment pour le scénario 2. Celles-ci auront pour objectif de contrôler et diminuer au maximum les transferts de polluant vers l'air intérieur et les cibles.	**NON** usage fixé pour la réhabilitation : résidentiel

Ainsi, dans le cadre de la réhabilitation du site, il sera nécessaire d'agir sur **les sources même de contamination**, mais également **sur les mesures constructives du projet**, pour remplir l'ensemble des objectifs et obligations règlementaires.

Les scénarii de réhabilitation à intégrer à la conception du projet seront établis en fonction des différentes techniques de traitement envisageables et permettant l'abattement des contaminations mises en évidence dans les sols et la nappe d'eau souterraine.

Comme évoqué dans les paragraphes précédents, des **mesures simples de gestion** sont par ailleurs prises en compte afin de s'affranchir d'une partie des voies d'exposition. Ces mesures simples ont été intégrées aux scénarios de réhabilitation envisagés.

12.5.3.2 Choix du milieu à traiter

Le diagnostic environnemental réalisé sur le site a permis de mettre en évidence la présence de contaminations dans le **milieu sol** et **eaux souterraines**, liées aux diverses activités (dont activités illégales) ayant eu lieu sur le site.

Des pollutions concentrées sont présentes dans le milieu sol et nécessitent une gestion spécifique car les impacts répertoriés ne seront pas gérés avec le projet d'aménagement tel qu'il est envisagé actuellement.

Les eaux souterraines sont impactées par des traces de naphtalène en dissous, et par la présence d'une phase pure flottante qui peut agir comme une source de pollution constante vis-à-vis des eaux souterraines (passage en dissous de composés depuis la phase flottante). L'origine de la contamination des eaux souterraines par cette phase pure n'est pas certaine mais pourrait provenir d'un accident survenu au droit de l'ancien bâtiment de fabrication de moellons d'après le témoignage d'un riverain. Si cette contamination a eu lieu en surface, elle a été ensuite drainée vers le milieu eau souterraine par des chemins préférentiels en fonction des différences de perméabilité des sols. La plupart des ouvrages piézométriques ont montré la présence de contamination par la phase pure dans les eaux souterraines (après un temps de stabilisation et de retour de la phase dans les piézomètres nouvellement créés). Il y a une forte probabilité que cette contamination ait pu s'étendre en dehors du site.

En prenant en compte l'impact environnemental et sanitaire que représente la présence de la phase pure dans les eaux souterraines et du fait de l'étendue des contaminations, des actions de traitement de ce milieu sont à intégrer à la conception du projet de réhabilitation.

12.5.3.3 Incertitudes sur le milieu à traiter

En première approche, il est retenu le **traitement simultané du milieu sol et du milieu eaux souterraines**. Toutefois, le traitement de ces milieux est empreint de nombreuses incertitudes à ce stade des connaissances des milieux.

Sur le milieu sol, il subsiste des incertitudes concernant :

- **les possibilités de coupures granulométriques des matériaux** : dans l'objectif de réduire le volume des terres polluées à traiter, un criblage pourrait être déployé sur le site en phase travaux. Une analyse de la charge polluante pourrait être réalisée par fraction granulométrique, de manière à quantifier le gain et l'optimisation atteignable par ce type de prétraitement face à une évacuation brutes des terres vers les filières externes. A noter que les GTR effectuées dans le cadre du diagnostic tendent à indiquer une forte part de matériaux grossiers dans les sols du site (Fraction supérieure à 20 mm souvent supérieure à 30% de la masse), données qui tendent à conforter l'intérêt que pourrait représenter ce type de prétraitement dans la recherche d'optimisation technique, environnementale et économique de la solution de gestion.
- **Les quantités de déchets à trier** : des déchets ont été identifiés en surface du site et dans plusieurs sondages de sol réalisés. De nombreux tas de remblais sont présents au droit du site et pourraient également contenir des déchets en quantité inconnue, de même que les secteurs non-investigués dans les sols. Des témoignages de riverains indiquent également que des zones de remblaiement de déchets pourraient exister sur le site (enfouissement de pneus dans le talus nord ? remblaiement des anciens bassins au nord-ouest ?). De ce fait, les incertitudes liées aux quantités de déchets au droit du site demeurent importantes. Il est conseillé de réaliser une prospection complémentaire de type « essai de tri » ciblée sur ce sujet pour approcher une quantification des déchets mêlés aux terres qui seront à gérer dans le cadre des travaux de dépollution et des travaux de terrassements.
- **Les capacités de relargage vers l'air ambiant des contaminations** : les études réalisées à ce stade ont considéré les concentrations sur le milieu sol en l'absence d'analyses sur le milieu gaz du sol. Les modélisations réalisées sont donc empreintes d'incertitudes et de majoration qu'il est nécessaire de lever en réalisant une quantification des capacités de relargage des sources (Réalisation d'a minima 2 campagnes de mesures des gaz du sol sur un réseau de surveillance suffisant).

Sur le milieu eaux souterraines, il subsiste des incertitudes concernant :

- **Les paramètres hydrodynamiques de la nappe**, conditionnant le dimensionnement des ouvrages de pompage, de traitement et de réinjection : en l'absence d'essai de pompage réalisé au droit du site, ces paramètres hydrodynamiques ne peuvent être qu'estimés à ce stade à partir de la bibliographie. La réalisation d'essai de pompage a minima et de réinjection sera préconisée pour aboutir au Plan de Conception des Travaux.
- **Les capacités de relargage vers l'air ambiant de la phase pure :** les études réalisées à ce stade ont considéré les concentrations sur le milieu eau souterraine en dissous. Les concentrations sur la phase n'ont pas été considérées car elles sont empreintes de grosses incertitudes sur leur comportement et leurs capacités de relargage dans l'air ambiant. La réalisation de campagne de mesures des gaz du sol permettra de lever ces incertitudes.

En ce sens et, préalablement à l'engagement d'un traitement des milieux sol et eaux souterraines au droit du site, **les études environnementales doivent être approfondies**. Il est préconisé la réalisation :

- Une **recherche d'extension** de la contamination des sols **mercure** autour de P07 – *Mission A200*
- De **2 campagnes de mesures des gaz du sol sur un réseau de surveillance suffisant** – *Mission A230,*
- D'**essais de traitabilité en laboratoire** adapté aux prétraitements et traitements envisagés – *Mission B111,*
- D'**essai de tri** en vue de la quantification de la fraction « déchet » potentiellement incluse dans les sols du site – *Mission B111,*
- D'un **essai de pompage** et d'**essai de réinjection**, en vue de permettre le dimensionnement des traitements de nappe – *Mission B112.*

12.5.3.4 Techniques de traitement envisageables

L'applicabilité des techniques de traitement est, en première approche, établie sur la composition même des sources de contamination à traiter et le retour d'expérience sur les technologies associées, reconnues au niveau national (UPDS, MEDAD, BRGM et décrite au travers de l'outil du MEDDE SelecDépol - http://www.selecdepol.fr).

Les tableaux présentés en pages suivantes reprennent en synthèse les grandes caractéristiques des techniques envisagées pouvant être appliquées au traitement des contaminations présentes.

Pour le milieu EAU, on retient les techniques suivantes :

- Pompage et traitement (avec réinjection éventuelle en amont ou rejet au réseau),
- Extraction double phase,
- Pompage-écrémage.

Ces techniques apparaissent globalement similaires d'un point de vue économique.

Pour le milieu SOL, l'ensemble des techniques in situ ont été écartées du fait de l'étendue de la problématique à gérer et de l'hétérogénéité de constitution des sols entrainant probablement une hétérogénéité des résultats et rendant difficile le dimensionnement du traitement. De ce fait et compte-tenu de la bonne accessibilité des terrains pollués, l'excavation des sols et le traitement hors-site parait la méthode la plus appropriée. A l'issue de cette excavation, les prétraitements et traitements suivants pourront être envisagés :

- **Pré-traitements :**
  - **Tri granulométrique :** Faisabilité et intérêt à quantifier au stade PCT ;
  - **Lavage à l'eau (ou autre solution) sur site et hors site :** Faisabilité et intérêt à quantifier au stade PCT pour identifier le taux d'abattement complémentaire que pourrait apporter cette solution sur les fractions grossières issues d'un tri granulométrique préalable ;
- **Traitements hors-site :**
  - **Incinération** / **Pyrolyse** ;
  - **Oxydation et réduction chimique (traitement secondaire) :** à étudier au stade PCT mais a priori peu envisageable sur les matériaux impactés par la phase pure.

Pour un meilleur rendement de ces différentes techniques et une optimisation budgétaire des travaux, plusieurs tests de traitabilité pourraient être réalisés en amont des travaux (stade PCT). L'objectif de ces tests est de valider ou non l'applicabilité des différentes techniques envisagées. En effet, l'efficacité de ces techniques est conditionnée par les caractéristiques des polluants d'une part, mais également par les caractéristiques

intrinsèques du milieu (conditions géologiques / pédologiques, hydrogéologiques, microbiologiques). Ces caractéristiques de milieu sont pour certaines encore insuffisamment connues pour garantir leur efficacité.

Les tests de traitabilité (Mission B111 suivant la norme NFX31-620) préconisées **vis-à-vis du milieu sol et des techniques envisageables citées précédemment** sont :

- **Un essai de tri de déchets** en vue de quantifier la masse de « déchet » potentiellement inclus dans les sols du site ;

- **Un essai de fractionnement granulométrique** (coupure) pour quantifier en sortie de criblage le pourcentage de matériaux inertes ou revalorisables sur site et établir la grille de coupure optimale.

- **Un test de lavage** éventuel (en fonction des résultats du test de fractionnement) qui permettrait d'établir l'efficacité d'un prétraitement complémentaire des fractions grossières à l'eau (ou avec une solution ionisante) en vue de permettre leur déclassement en matériaux inertes ou revalorisables sur site.

- **Un essai de recyclage** en vue d'établir les possibilités de revalorisation géotechnique des matériaux issus d'un criblage et/ou concassage en vue d'une utilisation pour la construction des infrastructures du projet.

Vis-à-vis du milieu eaux souterraines, un essai de pompage et de réinjection permettrait d'obtenir les paramètres hydrodynamiques de la nappe (perméabilité, transmissivité, porosité efficace, emmagasinement, vitesse d'écoulement…), nécessaires au dimensionnement des techniques de pompage/traitement envisagées sur les eaux souterraines.

Technique	Principe Général	Applicabilité	Polluants	Coût unitaires de traitement			Délais			Efficacité		Applicabilités au site	
				Fourchette inférieure	Fourchette supérieure	unité	Fourchette inférieure	Fourchette supérieure	unité	efficacité	Remarques	oui / non	retenue dans le BCA
Atténuation naturelle contrôlée	«Processus se produisant naturellement dans les sols et les eaux souterraines, sans intervention humaine, visant à réduire la masse, la toxicité, la mobilité, le volume ou la concentration des contaminants dans ces milieux.	L'atténuation naturelle contrôlée s'applique essentiellement dans la zone saturée.	HCT léger et lourds, COV, SCOV, COHV, SCOHV	12	65	€/m² de surface d'eau à traiter	des décennies			rendements disparatre	méthode non compatible avec une valorisation immobilière immédiate	NON	NON - ne concerne que la phase dissoute et nécessite une étude de biodégradation permettant de vérifier la présence d'une flore bactérienne adéquate
Barbotage in situ	Le barbotage in situ ("sparging") repose sur le même principe que le venting mais son application est réalisée dans la zone saturée et dans la frange capillaire. L'air injecté dans la nappe (et non dans la zone non saturée comme dans le venting) va favoriser la volatilisation des polluants qui seront extraits au niveau de la zone vadose et traités sur site. Le sparging est souvent couplé au venting.	Le sparging permet de traiter des composés organiques volatils et semi-volatils (halogénés ou non halogénés) dans des sols perméables et homogènes (constante de Henry supérieure à 0,01 Pa.m3/mol à 20°C et/ou pression de vapeur saturante supérieure à 0,5 mm Hg (67 Pa) à 20°C). Il est particulièrement adapté au traitement de la frange capillaire de la nappe.	HCT légers, COV, SCOV, COHV, SCOHV	2	50	€/m3 de liquide traités	6	18	mois	Le rendement de ce procédé varie en général de 30 à 99 % dépendamment du contexte hydrogéologique et des polluants.	-	NON - principalement pour la phase dissoute et nécessite une étude d'efficacité et un essai d'épuisement	
Barrière perméable réactive	Une Barrière Perméable Réactive (BPR) est constituée d'une zone perméable de matériaux réactifs (métaux réducteurs, accepteurs ou donneurs d'électrons, adsorbants, lit bactérien,…) située sur le passage d'un panache d'eau souterraine polluée. Par écoulement advectif naturel au travers de la barrière, les polluants présents dans les eaux souterraines sont dégradés en éléments non nocifs (organiques) ou adsorbés/complexés (organiques, métaux et métalloïdes) par le réactif.	Les barrières réactives permettent le traitement de nombreux polluants organiques et de certains métaux. Cette technique s'applique dans des aquifères peu perméables à perméables, de préférence dans des milieux homogènes et poreux.	HCT légers et lourds, HAP, COV, SCOV, COHV , SCOHV, PCB, métaux	150	3000	€/m² de barrière construite	des décennies			Les performances des barrières dépendent étroitement des conditions hydrogéochimiques mais aussi du type de procédé. Les procédés physico-chimiques, lorsqu'ils sont bien dimensionnés, peuvent présenter des rendements épuratoires de plus de 95% ; les procédés biologiques ont globalement des rendements épuratoires moins élevés.	compatibilité avec avec une valorisation immobilière immédiate à étudier (phasage opération)	NON - principalement pour la phase dissoute et nécessite un dimensionnement hydrogéologique (essais de pompage)	
Biodégradation dynamisée	La biodégradation dynamisée ou l'atténuation naturelle dynamisée in situ nécessite l'ajout de composés spécifiques dans les sols ou les eaux souterraines afin de créer les conditions favorables à l'activité des microorganismes responsables de la biodégradation des contaminants. Pour ce faire, les microorganismes sont maintenus dans les conditions optimales (oxygène, pH, température, potentiel d'oxydoréduction) et des nutriments sont ajoutés essentiellement sous forme liquide.	Ce procédé est utilisé de préférence dans le cas de matériaux perméables à semi-perméables comme le sable, le gravier, le limon grossier. Les polluants préférentiellement concernés sont les hydrocarbures pétroliers à molécules courte à moyenne, les COV et les SCOV.	HCT légers et lourds, HAP, COV, SCOV, COHV, SCOHV, PCB	25	60	€/m3 de liquide traités	6	60	mois	Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu, il peut dans certains cas atteindre plus de 90%. La cinétique de biodégradation est le facteur limitant le plus contraignant.	Cette technique doit être couplé avec un venting pour extraire les gaz du sol	NON - ne concerne que la phase dissoute et nécessite une étude de biodégradation permettant de vérifier la présence d'une flore bactérienne adéquate	
Biosparging	Le biosparging est un traitement biologique aérobie qui consiste à stimuler la biodégradation dans la zone saturée et la zone capillaire par apport d'oxygène. Le biosparging est souvent couplé au bioventing.	Cette technique est particulièrement adaptée aux composés facilement biodégradables sur des matériaux perméables à semi-perméables comme le sable, le gravier, le limon grossier.	HCT légers et lourds, SCOV, COHV, SCOHV	2	50	€/m3 de liquide traités	6	60	mois	Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu et du type de polluant ; il peut dans certains cas atteindre plus de 90%. La cinétique de biodégradation est le facteur limitant le plus contraignant.		NON - ne concerne que la phase dissoute et nécessite une étude de biodégradation permettant de vérifier la présence d'une flore bactérienne adéquate	
Confinement vertical	Le confinement consiste à isoler les contaminants de façon à prévenir d'une manière pérenne leur propagation, contrôler, c'est-à-dire s'assurer du maintien des mesures mises en place, suivre, c'est-à-dire s'assurer de l'efficacité de ces mesures.	Ce type de traitement peut être appliqué à presque tous les types de pollution s à condition que : la pollution des eaux souterraines issue du confinement soit compatible avec les usages du milieu, les émanations gazeuses soient compatibles avec l'usage futur.	HCT légers et lourds, HAP,COV, SCOV, COHV, SCOHV, PCB, métaux	75	400	€/m²	quelques mois			On considère que les confinements, lorsqu'ils sont bien conçus et bien mis en place, sont très efficaces et ne permettent pas ou très peu de fuites vers l'extérieur. Dans tous les cas, les flux sortant du confinement doivent être compatibles avec les usages sur et hors site.	Dans le cas de polluant volatils, il faut s'assurer que l'usage soit compatible avec les polluants en présence	NON - difficultés de mise en œuvre et non préconisée par la méthodologie nationale en premier recours	
Oxydation chimique in situ	L'oxydation chimique *in situ* consiste à injecter un oxydant dans les eaux (zones saturée) sans excavation. Cet oxydant va détruire totalement ou partiellement les polluants. Ce procédé permet donc d'aboutir à la destruction des polluants (aboutissant à la transformation en eau, gaz carbonique et sels) ou à la formation de sous-produits de dégradation généralement plus biodégradables.	L'oxydation chimique in situ peut être appliquée dans les zones non saturée et saturée sur un large spectre de polluants organiques même à des concentrations très importantes.	HCT légers et lourds, HAP, COV, SCOV, COHV, SCOHV, métaux	30	115	€/m3 de liquide traités	quelques semaines	quelques mois		Les performances de l'opération sont étroitement liées au mode d'application, aux caractéristiques de la source de pollution (hétérogénéité …) ainsi qu'aux contextes géologiques et hydrogéologiques (perméabilité, hétérogénéité…).	perméabilité de la nappe d'eau souterraines de l'ordre de 10^{-3} m/s	NON - ne concerne que la phase dissoute et nécessite une étude d'efficacité et un essai de pompage pour dimensionner le système de récupération en aval	
Pompage et traitement	Le pompage et traitement consiste à extraire les eaux souterraines polluées et à les traiter sur site avant rejet (ou à les éliminer en centres agréés).	Le pompage et traitement est une technique relativement universelle puisqu'elle s'applique sur les pollutions organiques et minérales, qu'elles soient sous forme libre ou dissoute . Le pompage, en créant des cônes de rabattement, permet d'améliorer la récupération des LNAPL en phase libre. Néanmoins, en cas de présence de flottant, il est plus judicieux pour des raisons économiques de procéder à la récupération du surnageant indépendamment de la phase dissoute, ceci permet d'éviter une séparation ultérieure dans la filière de traitement des eaux.	HCT légers et lourds, HAP, COV, SCOV, COHV, SCOHV, PCB, métaux	1	120	€/m3 de liquide traités	6	18	mois	Le rendement de ce procédé peut atteindre 50-60 % dépendamment du contexte hydrogéologique (perméabilité, hétérogénéité..), des polluants (solubles ou hydrophobes) et de l'enlèvement de la source de pollution.	Cette technique s'applique principalement dans des aquifères relativement perméables (sablo-limoneux à graveleux) et homogènes.	OUI	**OUI**

Tableau 65 : Comparaison des techniques pour le traitement des eaux et sélection des techniques envisageable sur le site pour le milieu EAU (1/2)

Technique	Principe Général	Applicabilité	Polluants	Coût unitaires de traitement			Délais			Efficacité		Applicabilités au site	
				Fourchette inférieure	Fourchette supérieure	unité	Fourchette inférieure	Fourchette supérieure	unité	efficacité	Remarques	oui / non	retenue dans le BCA
Extraction double phase	L'extraction double phase consiste à exercer une dépression importante dans la zone non saturée, au niveau de la frange capillaire et au niveau de la partie supérieure de la zone saturée, ce qui a pour but d'extraire les gaz des sols, le surnageant (cas des produits flottants) et la phase dissoute. Les liquides et gaz extraits font l'objet d'une séparation et d'un traitement spécifique.	Ce procédé s'applique essentiellement à des COV et des hydrocarbures de type pétroliers (essence, gasoil…) en phase pure (LNAPL)	HCT légers et lourds, COV, SCOHV petrolier en phase pure	25	65	€/m3 de liquide traités	4	18	mois	Les rendements épuratoires peuvent atteindre dans les meilleures conditions 95 %. Son efficacité dépend énormément des caractéristiques du sol et de la profondeur de la pollution.	Cette technique s'applique essentiellement sur des produits en phase pure	OUI	**OUI**
Pompage écrémage	En présence de surnageant, les eaux souterraines sont pompées, ce qui génère un cône de rabattement. Les produits en phase pure s'accumulent gravitairement au centre de ce cône facilitant ainsi leur récupération en surface.	Cette technique s'applique sur des hydrocarbures de densité inférieure à 1 en phase libre (gasoil, fuel, essence, supercarburant, solvants ….). Par ailleurs, cette technique s'applique principalement dans des aquifères relativement perméables (sablo-limoneux à graveleux) et homogènes.	HCT légers et lourds, COV, SCOV, COHV	5	60	€/m3 de liquide traités	plusieurs mois	plusieurs années		Les rendements de récupération de la phase flottante sont généralement inférieurs à 50-60 % dans les meilleures conditions.	Cette technique s'applique essentiellement sur des produits en phase pure	OUI	**OUI**

Tableau 66 : Comparaison des techniques pour le traitement des eaux et sélection des techniques envisageable sur le site pour le milieu EAU (2/2)

Technique	Principe Général	Applicabilité	Polluant	Type méthode	Coût unitaires de traitement			Délais			Efficacité	Applicabilités au site	
					Fourchette inférieure	Fourchette supérieure	unité	Fourchette inférieure	Fourchette supérieure	unité		oui / non	retenue dans le BCA
Bioréacteur	La technique consiste à mélanger les sols pollués avec de l'eau et divers additifs afin de mettre les particules de sols en suspension dans l'eau et de former un mélange boueux. Les boues obtenuees sont traitées par voie biologique dans des bioréacteurs puis sont déshydratées.	Cette technique est plus adaptée que les autres technologies biologiques pour le traitement des polluants peu biodégradables et à des concentrations importantes. Elle est aussi plus applicable à des sols fortement argileux et hétérogènes. Ce procédé s'applique à des sols pollués par les produits pétroliers, COV, SCOV, COHV, SCOV, pesticides, certaines coupes pétrolières lourdes, solvants, PCB, conservateurs du bois et explosifs peuvent aussi être traités. Des traitements séquentiels aérobie/anaérobie sont utilisés pour traiter les PCB, les SCOHV, les pesticides. Cette technique n'est pas destinée au traitement des métaux/métalloïdes sauf dans certains cas.	PCB, HCT légers et lourds, HAP, métaux	Sur site ou hors site	50	120	€/tonne	quelques semaines	quelques mois	-	Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu ; il peut dans certains cas atteindre plus de 98-99% si le temps de traitement est suffisamment long et si les conditions sont favorables.	NON	NON - traitement rapide mais peu efficace sur fractions lourdes de HCT
Biotertre	Le Biotertre consiste à mettre des sols pollués en tas en vue d'un traitement biologique. Le procédé nécessite au préalable une Excavation. Les sols pollués sont mélangés avec un amendement (agent structurant) et sont par la suite dirigés vers une aire de traitement contenant a minima un système de collecte de lixiviats et des unités d'aération (extraction ou insufflation d'air) afin d'optimiser le transfert de l'oxygène et la stimulation de la biodégradation. La biodégradation est contrôlée. Les Biotertres sont le plus souvent recouverts par une géomembrane imperméable afin de limiter les infiltrations d'eaux pluviales, la volatilisation des polluants, le maintien/l'augmentation de la température. Les lixiviats sont en partie recyclés et en partie traités sur site avant d'être rejetés. Les rejets atmosphériques sont traités si nécessaire.	Le Biotertre s'applique à des sols pollués par les produits pétroliers de type gasoils, fuels, kérosène. Les COHV, SCOV, pesticides, certaines coupes pétrolières lourdes (HAP, huiles organiques …) peuvent aussi, dans certaines conditions, être traités mais avec des rendements épuratoires plus faibles. Les traitements en Biotertre s'appliquent de préférence à des pollutions inférieures à 15-20 g/kg de d'hydrocarbures pour les produits pétroliers « classiques ".	HAP, PCB, HCT légers et lourds	Sur site ou hors site	30	70	€/tonne	quelques semaines	24 mois	-	Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu ; il peut dans certains cas atteindre plus de 90% si le temps de traitement est suffisamment long.	NON	NON - traitement rapide mais peu efficace sur fractions lourdes de HCT
Désorption thermique sur site et hors site	La Désorption thermique consiste à appliquer de la chaleur pour extraire par volatilisation les polluants volatils et semi-volatils des sols excavés. La température utilisée est inférieure à celle nécessaire pour l'Incinération.	La Désorption thermique est utilisée pour de nombreux polluants organiques (volatils, semi-volatils voire peu volatils) : hydrocarbures pétroliers, fractions plus lourdes d'hydrocarbures, solvants chlorés, huiles, PCB, pesticides, dioxines/furanes, HAP. Le temps de séjour, la turbulence et la température sont adaptés en fonction des concentrations initiales en polluants et des propriétés des sols.	HAP, PCB, HCT légers et lourds, métaux	Sur site ou hors site	80	170	€/tonne	quelques minutes	quelques dizaines de minutes	-	Les rendements épuratoires sont élevés (plus de 95 à 98% pour les hydrocarbures pétroliers) et les concentrations finales en polluants sont faibles (inférieures à 5 mg/kg voire 100 ppb dans la plupart des cas). Ce rendement dépend des conditions d'exploitation, des concentrations en polluants et des propriétés des sols (hétérogénéité du milieu, présence de matière organique et présence de polluants très peu volatils).	OUI	NON - Rentabilité économique de la technique faible de part les températuresélevées qu'il faut atteindre pour traiter les HCT
Encapsulation sur site et élimination en centre de stockage	Le procédé d'Encapsulation consiste à enfermer physiquement sur site les sols par un dispositif de parois, couverture et fonds très peu perméables.	Ce type de traitement peut être appliqué à presque tous les types de pollution (COV, COHV, SCOHV, SCOV, PCB, HAP, métaux/métalloïdes) et à presque tous les types de sols. Le confinement peut être temporaire ou final.	HAP, PCB, HCT légers et lourds, métaux	Sur site ou hors site	-	-	-	quelques mois	quelques mois	-	On considère que les confinements, lorsqu'ils sont bien conçus et bien mis en place, sont très efficaces et ne permettent pas ou très peu de fuites vers l'extérieur. Dans tous les cas, les flux sortant du confinement doivent être compatibles avec les usages sur et hors site.	OUI	NON - Solution non préconisée en première approche par la méthodo nationale
Incinération	L'Incinération est une des techniques de traitement les plus anciennes. Son principe repose sur une combustion aérobie (en présence d'air) dans un four où les températures sont importantes (870 à 1 200°C). Ces hautes températures détruisent les polluants ou les volatilisent.	L'Incinération est utilisée pour de nombreux polluants organiques (volatils, semi-volatils voire peu volatils) à des teneurs très concentrées (de l'ordre de plusieurs % parfois), hydrocarbures pétroliers, fractions plus lourdes d'hydrocarbures, solvants chlorés, huiles, PCB, pesticides, dioxines/furanes, HAP, composés explosifs. Exception faite des composés radioactifs, l'intégralité des polluants peut être traitée par Incinération. Le temps de séjour, la turbulence et la température sont adaptés en fonction des concentrations initiales en polluants et des propriétés des sols.	HAP, PCB, HCT légers et lourds	Sur site ou hors site	250	450	€/tonne	quelques minutes	quelques dizaines de minutes	-	Les rendements épuratoires sont les plus élevés (plus de 99,99 % pour les hydrocarbures pétroliers) et les concentrations finales en polluants sont négligeables pour les composés organiques. Ces rendements dépendent des conditions d'exploitation, des concentrations en polluants et des propriétés des sols.	OUI	OUI - Pour les contaminations les plus concentrées et produits purs
Lavage à l'eau sur site et hors site	Le Lavage à l'eau est un procédé couramment employé après le tri granulométrique. Les contaminants adsorbés sur les particules fines, préalablement séparés des particules grossières, sont transférés vers la phase aqueuse (ou la solution extractante). Cette solution polluée est par la suite traitée. Afin d'augmenter les transferts des polluants des particules fines vers les eaux, il est couramment fait usage d'ajouts des agents chelatants, d'ajustement de pH, d'ajouts de surfactants (on parle alors de Mise en solution et extraction chimique).	Le Lavage ex situ s'applique principalement sur des sols hétérogènes afin de concentrer les fractions les plus fines, généralement les plus polluées. Il est principalement appliqué sur des sols contenant des hydrocarbures pétroliers, SCOV, SCOHV, COHV, COV, pesticides, métaux/métalloïdes et radionucléides. Le Lavage ex situ est particulièrement intéressant pour la séparation des composés peu dégradables et récalcitrants aux autres techniques de dépollution : HAP, PCB, dioxines et furannes, pesticides et métaux/métalloïdes.	HAP, PCB, HCT légers et lourds, métaux	Sur site ou hors site	Sur site: 45 Hors-site: 60	Sur site: 100 hors-site: 130	€/tonne	quelques minutes	quelques dizaines de minutes	-	Des rendements épuratoires de l'ordre de 95 % peuvent être obtenus dans des conditions optimales.	OUI	OUI - A étudier au stade PCT avec essai de traitabilité pour éventuellement voir le taux d'abattement complémentaire que pourrait apporter cette solution sur les fractions grossieres issues d'un criblage préalable
Mise en solution et extraction chimique	Cette technique est basée sur l'extraction des contaminants adsorbés sur les sols par des agents chimiques adaptés. On distingue deux techniques différentes : l'extraction chimique qui a pour but de dissoudre les polluants métalliques dans l'eau; l'extraction à l'aide de solvants plus spécifiquement adaptée aux polluants organiques. La filière de traitement est très proche de celle du lavage à l'eau. Les étapes de traitement reposent donc sur un mélange intime entre la solution extractante et les sols homogénéisés puis une séparation de la solution extractante et des polluants.	Les solvants organiques sont particulièrement efficaces pour le traitement des PCB, PCP, HAP, COV, pesticides, hydrocarbures lourds, goudrons..... Les tensio-actifs (ou surfactants) sont particulièrement efficaces pour transférer de grosses molécules hydrophobes dans la phase aqueuse. La Mise en solution et l'extraction chimiques sont particulièrement bien adaptées aux polluants récalcitrants aux autres techniques de dépollution (HAP, PCB, dioxines et furannes, pesticides…) pour lesquels elles constituent une alternative aux techniques de dépollution thermique. Les extractions acides sont particulièrement efficaces pour le traitement des métaux.	HAP, PCB, HCT légers et lourds, métaux	Sur site ou hors site	Sur site: NR Hors-site: 80	Sur site: NR Hors-site: 1300	€/tonne	quelques minutes	quelques dizaines de minutes	-	Des rendements épuratoires de l'ordre de 95 % peuvent être obtenus dans des conditions optimales. Les performances obtenues sont très variables en fonction des agents mobilisateurs utilisés, de la nature des polluants à extraire et du sol lavé.	OUI	OUI en traitement secondaire, avec lavage à l'eau préalable: à étudier au stade PCT avec essai de traitabilité pour étudier le taux d'abattement complémentaire que pourrait apporter cette solution sur les fractions grossieres issues d'un criblage préalable
Oxydation et réduction chimique	Les procédés d'Oxydation/réduction permettent de transformer les polluants contenus dans les sols pollués excavés en polluants non toxiques (plus stables, moins mobiles ou inertes). Le procédé repose donc sur un mélange intime entre les oxydants/réducteurs et les sols homogénéisés.	Le type de pollution adaptée pour le traitement par oxydation/ réduction chimiques est la pollution de type inorganique. Le procédé est particulièrement adapté pour traiter les cyanures et le chrome . Le procédé peut aussi être utilisé sur les COV, les COHV les SCOV, les SCOHV, les HAP, les PCB, les hydrocarbures de types pétroliers et les pesticides/herbicides.	HAP, PCB, HCT légers et lourds, métaux	Sur site ou hors site	60	150	€/tonne	quelques minutes	quelques dizaines de minutes	-	Étant donné, l'hétérogénéité des processus et l'état de maturité des techniques, les rendements épuratoires varient de 60 à plus de 99 %.	OUI	Solution à priori peu envisageable sur les terres contaminées par une phase pure, de par les quantités trop élevées d'eoxydant à déployer - a étudier au stade PCT

Tableau 67 : Comparaison des techniques pour le traitement des sols et sélection des techniques envisageable sur le site pour le milieu SOL (1/2)

Technique	Principe Général	Applicabilité	Polluant	Type méthode	Coût unitaires de traitement			Délais			Efficacité	Applicabilités au site	
					Fourchette inférieure	Fourchette supérieure	unité	Fourchette inférieure	Fourchette supérieure	unité		oui / non	retenue dans le BCA
Bioréacteur	La technique consiste à mélanger les sols pollués avec de l'eau et divers additifs afin de mettre les particules de sols en suspension dans l'eau et de former un mélange boueux. Les boues obtenuees sont traitées par voie biologique dans des bioréacteurs puis sont déshydratées.	Cette technique est plus adaptée que les autres technologies biologiques pour le traitement des polluants peu biodégradables et à des concentrations importantes. Ce procédé s'applique à des sols pollués par les produits pétroliers, COV, SCOV, COHV, SCOV, pesticides, certaines coupes pétrolières lourdes, solvants, PCB, conservateurs du bois et explosifs peuvent aussi être traités.Des traitements séquentiels aérobie/anaérobie sont utilisés pour traiter les PCB, les SCOHV, les pesticides. Cette technique n'est pas destinée au traitement des métaux/métalloïdes sauf dans certains cas.	HAP	Sur site ou hors site	50	120	€/tonne	quelques semaines	quelques mois	-	Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu ; il peut dans certains cas atteindre plus de 98-99% si le temps de traitement est suffisamment long et si les conditions sont favorables.	NON	NON - traitement peu efficace sur fractions lourdes de HCT
Compostage	Le Compostage consiste à mélanger des sols excavés avec des amendements organiques et à les disposer en tas trapézoïdaux régulièrement espacés afin de favoriser la biodégradation.	Le Compostage est efficace pour traiter les sols souillés par les composés monoaromatiques (BTEX), phénols, HAP (les plus légers de type naphtalène et phénanthrène), hydrocarbures pétroliers (essence, diesel, lubrifiant, huiles), herbicides/ pesticides mais aussi PCB, PCP, chlorobenzène et certains explosifs.	HAP, PCB, HCT légers et lourds	Sur site ou hors site	15	40	€/tonne	2	12	mois	Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu ; il peut dans certains cas atteindre plus de 95%. La cinétique de biodégradation est le facteur limitant le plus contraignant.	NON	NON - traitement peu efficace sur fractions lourdes de HCT
Excavation des sols	L'Excavation ne constitue pas un procédé de traitement en tant que tel ; elle doit être accompagnée d'actions complémentaires afin de traiter et/ou stocker les terres excavées. Elle ne constitue donc qu'une phase préliminaire de traitement/réhabilitation.	Tous les types de sols pollués peuvent faire l'objet d'excavation (quel que soit la granulométrie et la teneur en polluants). D'une manière générale, seules les sources de pollution situées en zone vadose font l'objet d'une excavation.	HAP, PCB, HCT légers et lourds, métaux	Sur site ou hors site	7	40	€/m3 de sol	50	200	m3/j	La technique est radicale et présente une garantie de résultats. Son efficacité est très dépendante de la précision des investigations de terrain.	OUI	OUI
Landfarming	Le procédé consiste à étaler une faible épaisseur de sols pollués sur un support imperméable et à favoriser, via des techniques agricoles classiques, leur biodégradation aérobie.	Le Landfarming est efficace pour traiter les sols souillés par les composés monoaromatiques (BTEX), phénols, HAP (les plus légers de type naphtalène et phénanthrène), hydrocarbures pétroliers (essence, diesel, lubrifiants légers, huiles). Certaines expériences positives ont été démontrées sur les pentachlorophénols, les hydrocarbures lourds et certains pesticides.	HAP, HCT légers et lourds	Sur site ou hors site	13	35	€/tonne	3	24	mois	Le rendement de ce procédé varie fortement en fonction des conditions du milieu ; il peut dans certains cas atteindre 90%. Les concentrations résiduelles faibles sont difficiles à obtenir. La cinétique de biodégradation est le facteur limitant le plus contraignant.	NON	NON - traitement peu efficace sur les fractions lourdes de HCT et concentrations de départ trop élevées pour un traitement efficace
Pyrolyse	La Pyrolyse consiste à chauffer les sols en l'absence d'oxygène pour en extraire les polluants volatils et semi-volatils.	La Pyrolyse est particulièrement adaptée pour traiter les sols riches en matière organique contaminés par des composés semi-volatils ou peu volatils, certains métaux lourds (mercure), mais aussi des sols pollués par des hydrocarbures plus légers mais fortement adsorbés sur certains types de sols (taux de matière organique très élevés). Le temps de séjour, la turbulence et la température sont adaptés en fonction des concentrations initiales en polluants et des propriétés des sols.	HAP, PCB, HCT légers et lourds	Sur site ou hors site	75	150	€/tonne	quelques minutes	quelques dizaines de minutes	-	Dans de bonnes conditions, des rendements épuratoires supérieurs à 90% ont été obtenus. Ces rendements dépendent des conditions d'exploitation, des concentrations en polluants et des propriétés des sols	OUI	OUI- mais tres onéreux
Tri granulométrique	Le Tri granulométrique permet de séparer les différentes fractions des sols. Les fractions fines qui représentent les fractions les plus polluées sont ainsi isolées avant traitement. Il ne constitue donc qu'une phase préliminaire du traitement et/ou de la réhabilitation.	Le tri s'applique principalement sur des sols hétérogènes afin de concentrer les fractions les plus fines, généralement les plus polluées. Il est principalement appliqué sur des sols contenant des hydrocarbures pétroliers, SCOV, SCOHV, COHV, COV, pesticides, métaux/métalloïdes, radionucléides. Le tri est particulièrement intéressant pour la séparation des composés peu dégradables et récalcitrants : HAPs, PCBs, dioxines et furannes et métaux/métalloïdes. La séparation magnétique est plus particulièrement adaptée à la séparation des métaux lourds, des radionucléides, des particules magnétiques radioactives. Les procédés par tri physique ou physico-chimique ont pour cible les contaminations liées aux constituants solides du sol. Ils ne s'adressent pas aux pollutions des phases gazeuses ou dissoutes.Il est à noter que la séparation physique précède souvent le Lavage ou la Mise en solution suivie d'une extraction chimique.	HAP, PCB, HCT légers et lourds, métaux	Sur site ou hors site	8	80	€/tonne	quelques minutes	quelques dizaines de minutes	-	Des rendements épuratoires de l'ordre de 95-98 % peuvent être obtenus dans des conditions optimales.	OUI	OUI - en prétraitement à étudier au stade PCT
Vitrification sur site ou hors site	La Vitrification est un traitement thermique qui a pour but de solidifier/stabiliser les sols excavés par élévation de la température afin de les transformer en un matériau fondu qui se vitrifie en se refroidissant.	Cette technique, à l'instar des autres techniques de solidification/stabilisation, est applicable à de nombreux composés organiques (destruction des COV, SCOV, dioxines, PCB…) mais est principalement destinée à traiter (par immobilisation) les composés inorganiques mais aussi l'amiante et les radionucléides.	HAP, PCB, HCT légers et lourds, métaux	Sur site ou hors site	250	800	€/tonne	quelques heures	quelques heures	-	Les concentrations dans les lixiviats après traitement peuvent être diminuées de plus de 95%.	NON	NON - non applicable
Solidification-stabilisation sur site, hors site	Les procédés de Solidification-stabilisation sur site ou hors site ont pour but de piéger les polluants afin de réduire leur mobilité. Les polluants sont soit liés physiquement, soit inclus dans une matrice stabilisée, soit liés chimiquement.	Ces techniques sont essentiellement utilisées sur les polluants de type métaux/métalloïdes ainsi que sur certains polluants radioactifs. On les utilise, dans une moindre mesure, sur certains composés organiques non/peu biodégradables. Le traitement de sols pollués par stabilisation physico-chimique a pour cible la fraction relargable des polluants présents dans le sol. Il ne s'adresse pas aux pollutions des phases gazeuses ou solides peu solubles.	PCB, métaux	Sur site ou hors site	Sur site: 45 Hors site: 180	Sur site: 120 Hors site: 300	€/tonne	800 t/jour	1000 t/j	tonnes/jour	Les concentrations dans les lixiviats après traitement peuvent être diminuées de 95% et, dans certains cas, atteindre des valeurs inférieures à quelques microgrammes par litre et donc inférieures à certains critères réglementaires.	NON	NON - non applicable

Tableau 68 : Comparaison des techniques pour le traitement des sols et sélection des techniques envisageable sur le site pour le milieu SOL (2/2)

12.5.4 Identification des critères de comparaison pertinents du bilan coûts/avantages (BCA)

Dans le cadre du bilan coûts / avantages (BCA), des critères ont été retenus afin de comparer les scénarios entre eux. Ces critères prennent en compte à la fois l'aspect, technique, environnemental, financier, socio-politique et juridiques et règlementaires des travaux à engager dans le cadre des scénarios étudiés. Le détail des critères retenus est présenté dans le tableau ci-dessous.

Critères spécifiques à l'opération		Caractéristiques/hypothèses spécifiques à l'opération	Notation	Notation du critère général
Critères techniques	Faisabilité	Quelles sont les contraintes techniques en phase travaux de la mise en œuvre de l'option de gestion ? Quelles sont les incidences sur le projet d'aménagement ?	**/ 2**	**/7**
	Gestion des incertitudes	Quelles sont les incertitudes liées à l'option de gestion, notamment vis-à-vis de la pérennité du système mis en place et des risques sanitaires ?	**/ 2**	
	Délai de mise en œuvre	L'option de gestion induit-elle un délai spécifique de mise en œuvre ?	**/ 3**	
Critères environnementaux	Bilan carbone	La mise en œuvre de l'option de gestion induit elle l'émission de gaz à effet de serre (GES) ?	**/ 1**	**/3**
	Déchets	L'option de gestion induit-elle une production de déchets ?	**/ 1**	
	Contraintes résiduelles	Quelles sont les contraintes résiduelles associées à la mesure de gestion retenue	**/ 1**	
Critères économiques	Coûts	Quel est le coût associé à l'option de gestion ?	**/ 3**	**/5**
	Optimisation de la valorisation des déblais d'aménagements	Quelle est la balance déblai/remblais réutilisables sur site ?	**/1**	
	Valorisation foncière du site	Le foncier est-il immobilisé pendant le traitement ou est-il viabilisable ?	**/1**	
Critères socio-politiques	Nuisances du chantier	Le chantier entraînera-t-il des nuisances ? (Sonores, olfactives génération de poussières, augmentation trafic routier…)	**/1**	**/2**
	Acceptabilité	Une communication particulière sur le traitement mis en place est-elle nécessaire auprès du public ?	**/1**	
Critères juridiques et réglementaires	Responsabilité liée aux déchets générés	Des déchets (élimination hors site de matériaux) seront-ils produits, impliquant une responsabilité du maitre d'ouvrage jusqu'à leur élimination finale ?	**/1**	**/3**
	Contraintes résiduelles (restrictions d'usage, surveillances...)	Des contraintes résiduelles existeront-elles à l'issue des travaux ?	**/2**	

Tableau 69 : Critères retenus pour l'étude des options de gestion du BCA

Les critères de notation appliqués dans le cadre du bilan coûts / avantages sont les suivants :

- Application d'une pondération à chacun des sous-critères retenus avec une notation sur 1 à 4 points.
- 1 à 4 points sont attribués aux sous-critères présentant à minima un avantage,
- Pour chaque inconvénient, 0.25 à 0.50 point est retiré au sous-critère concerné,
- Dans le cas d'une note négative, cette dernière sera ramenée à 0.

12.5.5 Bilan couts/avantages

Dans l'un ou l'autre des scénarii étudiés (scénario 1 et scénario 2), la solution de traitement de la phase organique flottante sur l'eau souterraine sera identique. Le tableau de la page suivante présente le détail du bilan coûts / avantages.

SCENARIOS			SC1: Suppression des pollutions organiques et inorganiques concentrées	Scénario SC2 : Suppression des pollutions organiques concentrées et contrôle des voies de transferts pour les pollutions organiques résiduelles et pour les pollutions inorganiques.
Technique			SOL: Excavation et traitement hors site (prétraitement à étudier dans le cadre d'un PCT) EAU: Pompage et traitement de type Pompage-écrémage.	SOL: Excavation et traitement hors site (prétraitement à étudier dans le cadre d'un PCT) EAU: Pompage et traitement de type Pompage-écrémage.
Détail du scénario			Excavation et gestion **HORS SITE** des pollutions concentrées organiques et inorganiques EAU: Pompage et traitement de type Pompage-écrémage.	Excavation et gestion **HORS SITE** des pollutions concentrées organiques uniquement ; Maintien sur site des pollutions inorganique avec recouvrement et mise en place de restrictions d'usages et de servitudes
Critère technique	**Faisabilité**	**Commentaire**	- Technicité simple à mettre en œuvre et éprouvée - Profondeur accessible des zones polluées pour la plupart (<4 m) - Faisabilité du pré-traitement à consolider dans le cadre d'un PCT. - Données sur le fonctionnement hydrogéologique à obtenir pour le traitement d'eau (Essai de pompage / réinjection)	- Technicité simple à mettre en œuvre et éprouvée - Profondeur accessible des zones polluées pour la plupart (<4 m) - Faisabilité du pré-traitement à consolider dans le cadre d'un PCT. - Données sur le fonctionnement hydrogéologique à obtenir pour le traitement d'eau (Essai de pompage / réinjection)
		/2	*1*	*1*
	Incertitudes	**Commentaire**	- Absence d'essai de traitabilité pour le pré-traitement (à étudier au PCT) ; - Absence d'essai de pompage / réinjection ; - Incertitudes sur la présence de déchets dans les sols - Incertitudes sur les extension et le fonctionnement de la lentille d'hydrocarbure - Incertitude sur le classement potentiel des matériaux de la frange capillaire impactés en phase pure (Déchets Dangereux acceptables en incinération ou Déchets Non-Dangereux acceptables en biocentre) (à étudier au PCT).	- Absence d'essai de traitabilité pour le pré-traitement (à étudier au PCT) ; - Absence d'essai de pompage / réinjection ; - Incertitudes sur la présence de déchets dans les sols - Incertitudes sur les extension et le fonctionnement de la lentille d'hydrocarbure - Incertitude sur le classement potentiel des matériaux de la frange capillaire impactés en phase pure (Déchets Dangereux acceptables en incinération ou Déchets Non-Dangereux acceptables en biocentre) (à étudier au PCT).
		/2	*0,75*	*0,75*
	Délai	**Commentaire**	Délai sols : 12 mois Délai Eau: 6 mois à 2 ans: délai identique dans les 2 scénarios Partie Nord libérée en 12 mois Partie Sud : Possibilité de finaliser le traitement pendant l'aménagement et l'exploitation du site	Délai sols : 9 mois Délai Eau: 6 mois à 2 ans: délai identique dans les 2 scénarios Partie Nord libérée en 9 mois Partie Sud : Possibilité de finaliser le traitement pendant l'aménagement et l'exploitation du site
		/3	*2*	*3*
	Notation /7		***3,75***	***4,75***
Critères environnementaux	**Consommation énergétique, ressources naturelles, bilan carbone**	**Commentaire**	- Consommation énergétique et émission de GES liée aux engins de chantier; - Consommation énergétique et émission de GES liée au transport routier des terres - Consommation énergétique et émission de GES liée au prétraitement : de faible à importante en fonction du type de pré-traitement - Consommation énergétique et émission de GES liée au traitement de l'eau (pompage)	- Consommation énergétique et émission de GES liée aux engins de chantier; - Consommation énergétique et émission de GES liée au transport routier des terres - Consommation énergétique et émission de GES liée au prétraitement : de faible à importante en fonction du type de pré-traitement - Consommation énergétique et émission de GES liée au traitement de l'eau (pompage)
		/1	*0*	*0,25*
	Production de Déchets ultimes	**Commentaire**	- Les terres excavées et éliminées hors site doivent être gérées comme des déchets selon une filière adaptée. Volume max estimé à 32 180 tonnes - La phase pure récupérée par pompage devra également être éliminée hors-site comme des déchets selon une filière adaptée. Volume estimé: 300 tonnes	- Les terres excavées et éliminées hors site doivent être gérées comme des déchets selon une filière adaptée. Volume max estimé à 15 160 tonnes - La phase pure récupérée par pompage devra également être éliminée hors-site comme des déchets selon une filière adaptée. Volume estimé: 300 tonnes
		/1	*0,25*	*0,5*
	Contraintes résiduelles	**Commentaire**	- Interdiction de puits à usage non industriel sur le site - Vides sanitaires ou garage en RDC	- Contaminations résiduelles en composés inorganiques (métaux lourds) dans les terres - Vides sanitaires ou garage en RDC - Interdiction de jardins potagers et d'arbres fruitiers sur le site - Interdiction de puits à usage non industriel sur le site
		/1	*0,25*	*0*
	Notation /3		***0,50***	***0,75***
Critères économiques	**Coûts totaux**	**Montant estimatif (€ HT)**	**de 3,4 à 4,3 M€ HT**	**de 2,1 à 2,8 M€ HT**
		/3	*1,7*	*3,0*
	Optimisation de la valorisation des déblais d'aménagement	**Commentaire**	A étudier dans le cadre du PCT : - fraction potentiellement réutilisable pour le remblaiement et ou l'aménagement - criblage préalable des matériaux (hypothèse 3 de l'estimation financières) - Etude de concassage et essai de recyclage à intégrer pur éviter les apport extérieurs en matériaux de carrière	A étudier dans le cadre du PCT : - fraction potentiellement réutilisable pour le remblaiement et ou l'aménagement - criblage préalable des matériaux (hypothèse 3 de l'estimation financières) - Etude de concassage et essai de recyclage à intégrer pur éviter les apport extérieurs en matériaux de carrière
		/1	*1*	*1*
	Valorisation foncière du site	**Commentaire**	- Libération plus longue de la partie Nord (1 ans) avant possibilité de lancement de l'aménagement, - Viabilisation du terrain pour un usage résidentiel avec restrictions limitées - pas d'immobilisation du foncier sur la partie Sud (Possibilité de finir le traitement en phase d'aménagement et exploitation)	- Libération plus courte de la partie Nord (9 mois) avant possibilité de lancement de l'aménagement, '- Viabilisation du terrain pour un usage résidentiel avec restrictions plus importantes (pas de potagers sauf hors sol) => moins value foncière à quantifier en cas de revente - pas d'immobilisation du foncier sur la partie Sud (Possibilité de finir le traitement en phase d'aménagement et exploitation)'
		/1	*0,5*	*0,5*
	Notation /5		***3,20***	***4,50***
Critères socio-politiques	**Nuisances du chantier**	**Commentaire**	- Nuisances sonores du chantier - Mesures à prendre pour limiter l'envol de poussières ou la gène olfactive pendant les terrassements - Augmentation du routier (transport par camion des terres)	- Nuisances sonores du chantier - Mesures à prendre pour limiter l'envol de poussières ou la gène olfactive pendant les terrassements - Augmentation du routier (transport par camion des terres)
		/1	0,25	0,25
	Acceptabilité	**Commentaire**	- Bonne acceptabilité à condition de justifier de filières de gestion adaptées - Vigilance sur l'acceptabilité pour le contrôle en Aval hors site - Point à travailler avec la Mairie, l'ARS et/ou la DREAL	- Bonne acceptabilité à condition de justifier de filières de gestion adaptées - Vigilance sur l'acceptabilité pour le contrôle en Aval hors site - Point à travailler avec la Mairie, l'ARS et/ou la DREAL
		/1	0,75	0,75
	Notation /2		***1,00***	***1,00***
Critères juridiques et réglementaires	**Responsabilité liée aux déchets générés**	**Commentaire**	- Les terres excavées et éliminées hors site sont des déchets sur le plan réglementaire. Le maître d'ouvrage, considéré comme le producteur des déchets, en reste responsable jusqu'à leur élimination finale. Volume max estimé à 32 180 tonnes de sols et 300 tonnes de produits purs	- Les terres excavées et éliminées hors site sont des déchets sur le plan réglementaire. Le maître d'ouvrage, considéré comme le producteur des déchets, en reste responsable jusqu'à leur élimination finale. Volume max estimé à 15 160 tonnes de sols et 300 tonnes de produits purs
		/1	*0,5*	*0,75*
	Contraintes résiduelles (restrictions d'usage, surveillances...)	**Commentaire**	- Interdiction de puits à usage non industriel sur le site - Vide sanitaires et garage en RDC - Surveillance des eaux souterraines	- Interdiction de jardins potagers et d'arbres fruitiers sur le site - Interdiction de puits à usage non industriel sur le site - Vide sanitaires et garage en RDC - Surveillance des eaux souterraines
		/2	*1,25*	*1*
	Notation /3		***1,75***	***1,75***
Note finale /20			**10,2**	**12,8**
Rang			**2**	**1**

Les critères de notation appliqués dans le cadre du bilan coûts / avantages sont les suivants :
- Application d'une pondération à chacun des sous-critères retenus avec une notation sur 1 à 4 points.
- 1 à 4 points sont attribués aux sous-critères présentant à minima un avantage,
- Pour chaque inconvénient, 0.25 à 0.50 point est retiré au sous-critère concerné,
- Dans le cas d'une note négative, cette dernière sera ramenée à 0.

Tableau 70 : Bilan coûts / avantages

De manière générale, l'analyse multicritères réalisée a permis de mettre en évidence que le scénario présentant le meilleur équilibre technique, économique et environnemental correspond au **:**

Scénario 2 : Suppression des pollutions organiques et restrictions concernant l'usage des sols liés aux problématiques inorganiques.

Ainsi le budget associé aux travaux de réhabilitation est d'environ **2,1 M€** hors taxes (pour une solution optimisée avec criblage préalable) à **2,8 M€ HT** (sans optimisation), pour une durée de traitement des 2/3 Nord du site sur **9 mois** et une fin de traitement de la partie Sud sur 9 à 15 mois complémentaires, mais avec possibilités de commencer l'aménagement et/ou l'exploitation du site.

Les incertitudes liées à nos estimations financières ont été quantifiées et s'échelonnent de 14 à 23% selon les scénarii.

Les écarts de montants par scénario et les incertitudes restent grands de par plusieurs critères identifiés et listés au sein des documents et qui pourront être affermis au stade Projet au sein du Plan de Conception de Travaux. Des pistes d'optimisation importantes peuvent être recherchées et même permettre d'améliorer l'équilibre financier de la solution à déployer. Ces pistes d'optimisation principales concernent :

1) L'**efficacité des prétraitements par criblage** pour l'abattement des masses de terres contaminées à gérer vers les filières extérieurs,
2) La **modification de la configuration spatiale du schéma d'aménagement**, en priorisant, entre autre, les constructions sur garage au droit des zones contaminées résiduelles.
3) Les **effets de consultations** auprès de centre de tri et acceptation autorisé, qui permet, notamment sur de grande quantité de réduire de façon importante les coûts à la tonne
4) L'**amélioration du traitement** du panache Sud par pompage après obtention des données de dimensionnement hydrogéologique (actuellement, l'estimation est fondée sur 10 puits),
5) La **limitation des déblais de terrassement** et l'**équilibre de gestion globale des matériaux** au sein du projet de terrassement ET de construction/aménagement,
6) Les **possibilités de recyclage et de revalorisation** des matériaux au sein des aménagements au lieu de prévoir l'apport de matériaux de carrière extérieure,
7) Les possibilités de **recherche d'aide et subventions** pour la reconversion des friches polluées (notamment dans le cadre d'ancien site BASOL et de sites orphelins ou à responsable défaillant).

12.5.6 Proposition de l'option de gestion pour le bilan couts avantages le plus adaptée à cette opération

12.5.6.1 Présentation

En définitif, sur la base des données acquises lors des diagnostics environnementaux, il a été retenu (cf. schéma en Figure 82) :

- **Dans la partie nord du site (nappe< 4 m de profondeur) :** l'excavation des sols jusqu'à 4 m de profondeur/terrain actuel, visant à :
    - Excaver les pollutions concentrées organiques et inorganiques sur les sols (hydrocarbures, HAP, PCB et métaux) ;
    - Excaver les matériaux impactés par la phase pure dans la frange capillaire de la nappe ;
    - Trier et traiter l'ensemble de ces matériaux vers des filières autorisées hors-site (biocentre, incinération, pyrolyse...) avec prétraitement préalable à étudier dans le cadre d'un PCT (tri granulométrique, lavage à l'eau).
    - Mise en place d'un pompage en fond de fouille lors des travaux d'excavation avec traitement de la phase pure par séparateur/coalesceur, permettant la séparation de la phase huile/eau, avant réinjection en nappe (en amont).
- **Dans la partie sud du site (nappe> 4 m de profondeur) :**
    - Mise en place d'une solution de pompage-traitement ou pompage/écrémage des eaux, visant en priorité à supprimer la phase organique flottante.
    - Le pompage permettra d'extraire les polluants organiques en phase non-dissoute (pure) dans la zone saturée et la frange capillaire en vue d'un traitement par séparateur/coalesceur. Un rabattement en plusieurs points de la nappe sera créé (augmentation du gradient hydraulique).
    - Dépendamment du contexte environnemental, des débits pompés et des autorisations administratives, les rejets pourraient être réalisés à certaines concentrations, dans les réseaux d'eaux usées, les réseaux d'eaux pluviales, les eaux superficielles, la nappe (réinjection). Il est envisagé en première approche les possibilités de réinjection en nappe des eaux en amont du système. La circulation d'eau induite par les pompages permettra de générer un renouvellement de l'eau dans les pores de la zone saturée.

Le nombre d'ouvrages à créer et leurs caractéristiques devront être étudiés dans le cadre d'un PCT comprenant les essais de pompage et de réinjection. En première approche, pour aboutir le chiffrage de la solution, nous avons fixé de façon arbitraire un nombre de 10 puits de pompage.

Dans la zone où la nappe est présente à plus de 4 m de profondeur, les diagnostics de terrain ont permis de mettre en évidence une surface d'eaux souterraines impactée d'environ 8350 m².

Considérant une épaisseur variable de la phase pure flottante (1 m mesuré au maximum environ) et une porosité moyenne de 0,25 (valeur moyenne pour les sables grossiers) le volume de phase à traiter pour la partie sud du site serait d'environ 380 m^3.

Ce volume est estimatif est empreint de nombreuses incertitudes à ce stade, en l'absence d'essai de pompage sur le site.

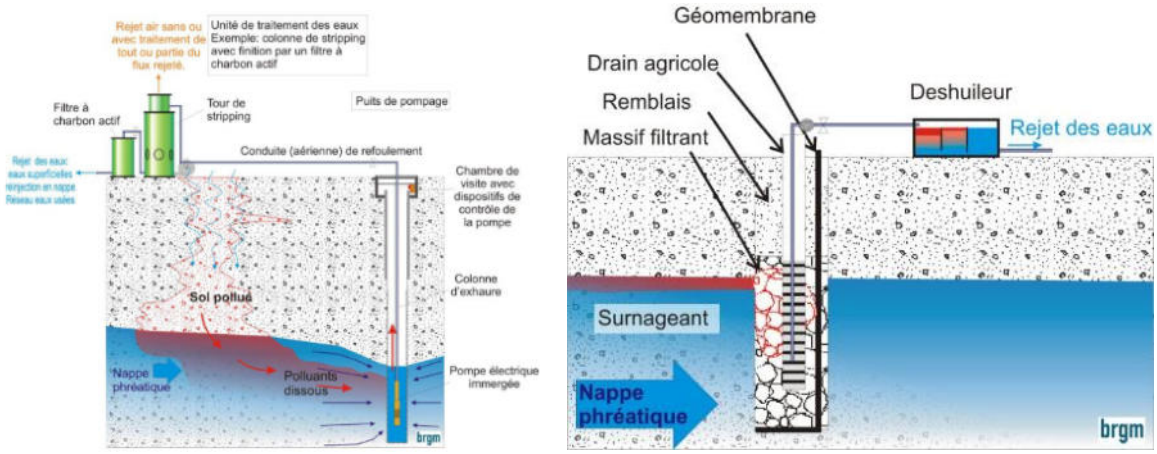


Figure 80 : Schéma de principe du pompage-traitement et variante à droite (tranchée drainante)

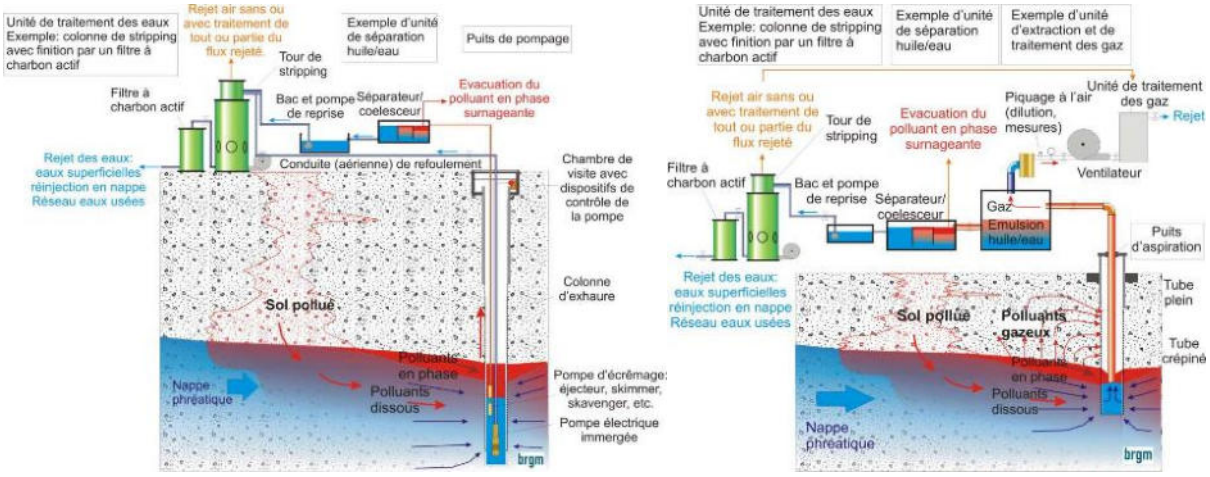


Figure 81 : Schéma de principe du pompage-écrémage (gauche) et de l'extraction double-phase (droite)

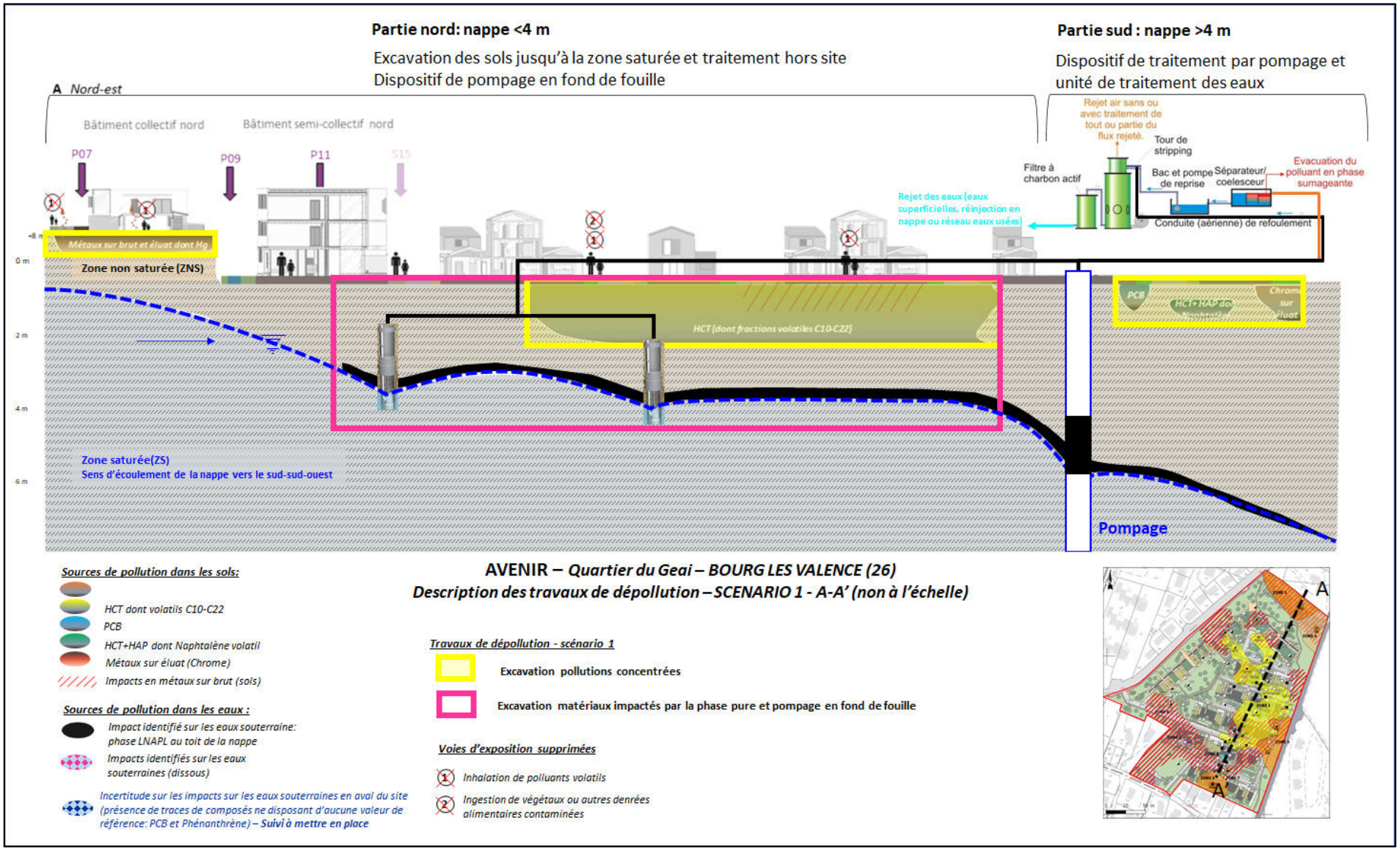


Figure 82 : Schéma des travaux de dépollution retenus dans le scénario 1

12.5.6.2 Déroulé de la solution

Les travaux de dépollution à mettre en œuvre dans le cadre des options de gestion retenues peuvent intégrer les phases et étapes suivantes :

- **ELEMENTS COMUNS AUX DEUX MILIEUX :**
    - **Aménagements généraux**
        1. Installation de chantier, branchements réseaux divers, et bureau de chantier pour la MOE
        2. Installation d'une aire de lavage
    - **Travaux préliminaires assurés en phase de préparation du chantier**
        1. Production des dossiers d'exécution
        2. Production des documents réglementaires
        3. Signalisation liée aux opérations de dépollution
    - **Rapport DOE**
    - **Suivi environnemental pendant et après travaux**
        1. Suivi sur les ouvrages de contrôle de la qualité des eaux souterraines pendant et en fin de travaux,
        2. Suivi sur les ouvrages de contrôle de la qualité des gaz du sol pendant travaux et en fin de travaux,
        3. Suivi sur les ouvrages de contrôle de la qualité des eaux souterraines pendant 4 ans à raison de 2 campagnes annuelles (période de haute et basse eaux).
    - **Analyse des risques résiduels et dossier de demande de servitudes**
    - **Mission de Maîtrise d'œuvre déléguée Sites et Sols Pollués** (Phase ACT, VISA, DET et AOR)

- **MILIEU SOL :**
    - **Etudes préliminaires sur site** (sécurisation de l'étendue des impacts et des zones sources)
        1. Réalisation d'une étude sur les gaz du sol :
            - Mise en place d'un réseau de piézairs,
            - Réalisation de 2 campagnes de prélèvements de gaz du sol et analyses en laboratoire,
            - Mise à jour de l'Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive avec les nouvelles données acquises.
        2. Réalisation des essais de traitabilité,
        3. Réalisation de la conception du projet (PCT, plans de terrassements, phasage…)
    - **Mise en place d'une aire de tri, contrôle et stockage provisoire des matériaux (avant évacuation hors site),**
    - **Mise en place des installations de pompage en fond de fouille et équipements (cf. partie sur milieu EAU)**
    - **Traitement des sources de pollution concentrées/déblais**
        1. Terrassements en talutage
        2. Option : prétraitement par criblage (approché au stade de ce plan de gestion en hypothèse 3)
        3. Suivi de chantier
        4. Sélection des centres d'acceptation et demande de CAP

5. Evacuation des contaminations vers les centres Hors Site adaptés suivant 3 hypothèses :
    - **HYPOTHESE 1 :** L'ensemble des matériaux contaminés peut être accepté en BIOCENTRE et/ou ISDD,
    - **HYPOTHESE 2 :** Les matériaux de la frange capillaires trop chargés en contamination doivent être évacués vers une filière de type ISDD/incinération/cimenterie, les autres peuvent être évacués en Biocentre et ISDD,
    - **HYPOTHESE 3 :** Un prétraitement par criblage est efficace pour déclasser 30% des matériaux au niveau ISDI (ou réutilisation sur site), le reste est acceptable en Biocentre/ISDD.

- **Contrôles analytiques et topographiques**
    1. Caractérisation de l'état initial et final au droit de l'aire de stockage provisoire,
    2. Réception des côtés et fonds de fouille,
    3. Contrôle de la qualité des matériaux en vue de leur évacuation et/ou réutilisation sur site,
    4. Contrôle topographique (initial, après excavation et final).

- **Remblaiement et retrait de chantier**
    1. Remblaiement et compactage des fouilles avec les matériaux sains du site,
    2. Elimination des déchets issus du chantier,
    3. Suivi et réception des travaux.

- **<u>MILIEU EAU</u>**

- **Etudes préliminaires**
    1. Dossiers règlementaires : déclaration loi sur l'Eau pour la réalisation d'essais de pompage et mise en place d'ouvrages de suivi, essai et pompages sur les eaux souterraines (+/- réinjection en nappe),
    2. Essai de pompage et réinjection sur site afin de définir précisément les rayons d'incidence, les cônes de rabattement/réinjection, le/les débits optimales de pompage, le temps de traitement adéquate,
    3. Campagne de surveillance des eaux souterraines et des gaz du sol afin d'obtenir un état initial avant traitement,
    4. Mise à jour de l'Analyse des Risques Résiduels (ARR) prédictive avec les nouvelles données acquises,
    5. Convention de rejet ou loi sur l'eau pour la réinjection.

- **Installation de chantier**
    1. Mise en place d'un ou plusieurs puits de pompage/réinjection – provision de 10 puits dans le présent Plan de gestion ;
    2. Installation de l'unité de pompage et du système de réinjection,
    3. Installation de l'unité de traitement,
    4. Installation du monitoring (débitmètre, suivi de pompage),

- **Phase d'essai**
    1. Suivi sur une semaine du traitement et ajustement des paramètres de fonctionnement et monitoring,
    2. Analyse des rejets d'eau

- **Traitement de la nappe**
    1. Pompage des eaux souterraines sur une durée estimée à 18 mois en première approche
    2. Traitement des eaux sur séparateur/coalesceur préalablement à leur rejet en nappe
    3. Contrôle des rejets eaux (2 par semaine)

4. Suivi de l'efficacité du traitement (campagne de contrôle sur les eaux souterraines)

- **Retrait de chantier**
  1. Enlèvement des installations (unité de traitement, unité de suivi)
  2. Comblement des puits de pompage

12.5.6.3 Limites et incertitudes

Les limites et incertitudes relatives à l'option de gestion retenue sont les suivantes :

- **Limites :**
  - Dans la limite des travaux désignés dans le chapitre précédent ;
  - Hors démolition et désamiantage ;
  - Hors élimination des déchets dispersés en dépôt sur site et/ou inclus dans les remblais du site,
  - Hors diagnostic amiante et diagnostic déchets avant démolition ;
  - Délais bruts de chantier sur site (Hors conception, consultation, préparation et parfait achèvement) ;
  - Hors gestion des déblais de terrassements liés à l'aménagement (vision à inclure dans le plan de conception de travaux) ;
  - Hors gestion spécifique des cuttings issus de la mise en place des puits de pompage,
  - Hors gestion des contaminations hors site (Soumis à IEM).
- **Incertitudes :**
  - Incertitudes inhérentes aux hypothèses prises pour la volumétrie de contaminations dans les eaux souterraines à prendre en charge et détaillées dans les diagnostics ;
  - Incertitudes sur l'état des contaminations hors site pouvant recharger les contaminations sur site (origine de la contamination de la nappe restant inconnue) ;
  - Incertitudes sur l'efficacité pérenne du traitement (relargage de la zone de battement)
  - Incertitude sur la durée de traitement (en première approche la durée de traitement retenue est considérée à 18 mois mais pourra être allongée ou au contraire réduite).

En complément afin d'affermir la technique de traitement optimale, il pourra être demandé à l'entreprise en charge des travaux de tester d'autre techniques et de choisir la plus adaptée au site.

12.5.6.4 Estimation financière des travaux

L'enveloppe des travaux de traitement du milieu sol (excavation et traitement hors-site) et du milieu eau (pompage en fond de fouille pour la partie nord et mise en place d'ouvrages de pompage des eaux souterraines en partie sud, reliés à une unité de traitement séparateur/coalesceur) est reprise dans le tableau ci-après et complétée avec un coefficient d'incertitude.

Les coefficients d'incertitude sont classés :

- lorsque le niveau d'incertitude est faible, le prix associé est multiplié par 0,
- lorsque le niveau d'incertitude est moyen, le prix associé est multiplié par 0,3,
- lorsque le niveau d'incertitude est élevé, le prix associé est multiplié par 0,75,

La somme des niveaux d'incertitude pour chaque poste donne l'incertitude globale du chiffrage.

NOTA : Pour le traitement du milieu EAU, le traitement est actuellement chiffré pour une durée indicative estimée de dépollution de 18 mois. Cette durée pourra être revue à la baisse ou à la hausse en fonction des résultats des études à mener en phase d'Etudes Préliminaires.

SCENARIO 2- Traitement hors site des pollutions concentrées organiques					
Désignation				**Prix total**	**Incertitude de chiffrage** Si fiabilité - Forte : +/-10% - Moyenne : +/-30% - Faible : +/- 75%
A - TRAITEMENT DU MILIEU SOL				**1 904 360 €**	254 542 €
1 : Etudes préliminaires				**45 725 €**	4 573 €
1.1 Etude préalable sur les gaz du sol				**10 725 €**	1 073 €
1.2 Faisabilité, plan de terrassement, phasage et dossier technique				**35 000 €**	3 500 €
2 : Aménagements généraux				**67 577 €**	17 873 €
2.1 Installation de chantier				**25 577 €**	7 673 €
2.2 Travaux préliminaires assurés en phase de préparation du chantier				**12 000 €**	1 200 €
2.3 Mise en place de l'aire de stockage provisoire				**30 000 €**	9 000 €
3 : Traitement des sources de pollution / Deblais				**1 386 204 €**	138 820 €
3.1 Gestion des cuves enterrées				**3 000 €**	500 €
32 Gestion des pollutions concentrées				**1 383 204 €**	138 320 €
	a		Amenée/Repli des camions 6x4 / 8x4	700 €	70 €
	b		Amenée/Repli d'une pelle	1 500 €	150 €
	c		Terrassement pollutions concentrées (base 250m³/j)	155 772 €	15 577 €
	d		Suivi de chantier	87 232 €	8 723 €
	e		Sélection des centres et demande de CAP	1 000 €	100 €
	f	f1	**HYPOTHESE 1 :** Acceptation de tous les matériaux en Biocentre, ISDND ou équivalent	**1 137 000 €**	113 700 €
		f2-1	**HYPOTHESE 2 :** Pollutions concentrées en Biocentre, ISDND ou équivalent	**657 000 €**	65 700 €
		f2-2	**HYPOTHESE 2 :** Matériaux impactés par la phase en ISDD, Incinération ou cimenterie	**960 000 €**	288 000 €
		f3	**HYPOTHESE 3 :** Criblage préalable => fraction grossière 30% en inerte et Fraction fine en Biocentre, ISDND ou équivalent	**939 920 €**	93 992 €
4 : Contrôles analytiques et topographiques				**118 808 €**	11 881 €
4.1 Caractérisation état initial et final au droit de l'aire de stockage provisoire				**1 500 €**	150 €
4.2 Bilan ISDI +COHV +ML Analyse lots de 250 m3				**8 308 €**	831 €
4.3 Réception côtés et fonds de fouille				**11 000 €**	1 100 €
4.4 Contrôle topographique				**3 000 €**	300 €
4.5 MOE phase DET				**95 000 €**	9 500 €
5 : Remblaiement et retrait de chantier				**286 045 €**	81 396 €
5.1 Remblaiement				**263 955 €**	79 187 €
5.2 Remise en état du site				**10 350 €**	1 035 €
5.3 Rapport DOE				**7 740 €**	774 €
5.4 MOE - Phase AOR				**4 000 €**	400 €
B-TRAITEMENT DU MILIEU EAU (phase pure flottante)				**357 305 €**	129 588 €
1 : Aménagements généraux				**19 769 €**	5 931 €
2 Etudes préliminaires				**19 000 €**	1 900 €
2.1 Dossiers règlementaires				**2 500 €**	250 €
2.2 Essai de pompage / réinjection				**10 000 €**	1 000 €
2.3 Suivi environnemental avant travaux				**6 500 €**	650 €
3 : Mise en place des installations de pompage et équipement				**96 200 €**	27 880 €
3.1 Installation d'un puits de pompage - PARTIE SUD DU SITE				**76 300 €**	22 890 €
3.2 Installation des dispositifs de pompage				**7 500 €**	2 250 €
3.3 Installation des dispositifs de pompage en fond de fouille - PARTIE NORD DU SITE				**7 500 €**	2 250 €
3.4 Phase d'essai				**4 900 €**	490 €
4 : Suivi et monitoring				**66 480 €**	6 648 €
5 : Traitement des effluents et des déchets				**107 006 €**	80 254 €
6 : Repli et rapport de fin de travaux				**10 450 €**	3 135 €
7 : Suivi environnemental après travaux, ARR et dossier servitudes				**38 400 €**	3 840 €

HYPOTHESE 1 (totalité des matériaux acceptés en ISDND/BIOCENTRE)		
Montant Hors Taxes **Réhabilitation globale**	**2 261 665 €**	+/- 384 130,57 €
Incertitude des coûts	+/- 16,98%	
Montant Hors Taxes à la tonne	*149,19 €*	

HYPOTHESE 2 (une partie des matériaux en ISDD/cimenterie/incinération)		
Montant Hors Taxes **Réhabilitation globale**	**2 741 665 €**	+/- 623 630,57 €
Incertitude des coûts	+/- 22,75%	
Montant Hors Taxes à la tonne	*180,85 €*	

HYPOTHESE 3 (Hypothèse avec prétraitement préalable efficace par criblage)		
Montant Hors Taxes **Réhabilitation globale**	**2 064 585 €**	+/- 363 922,57 €
Incertitude des coûts	+/- 17,63%	
Montant Hors Taxes à la tonne	*136,19 €*	

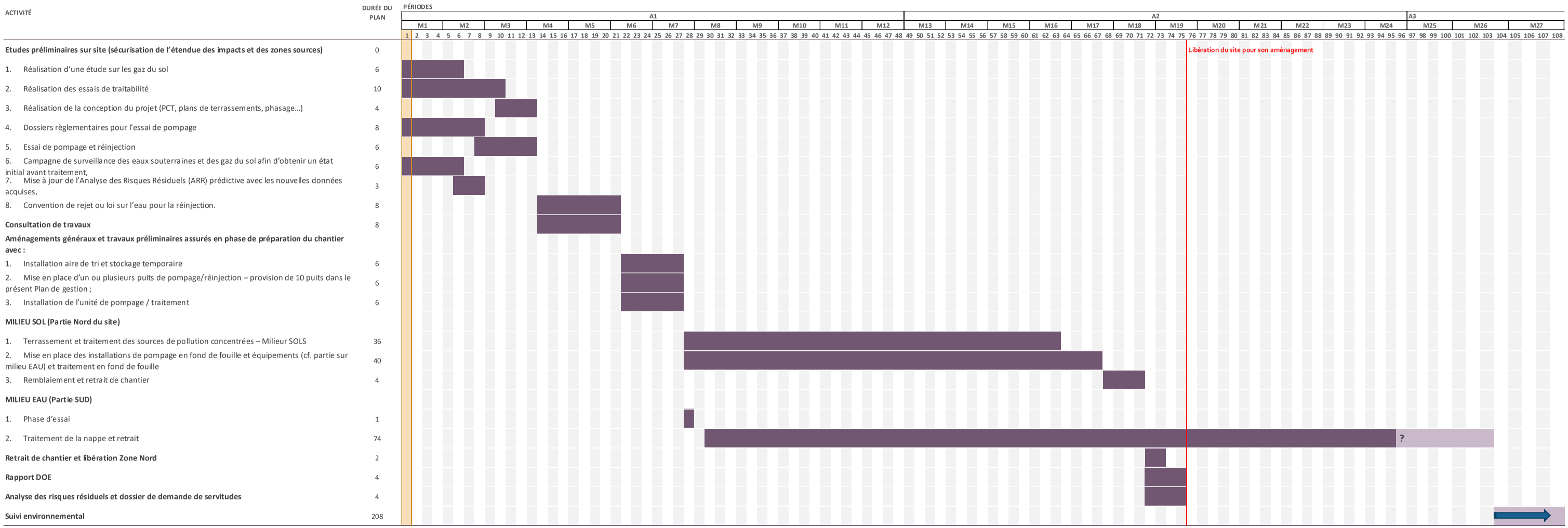
** La fiabilité des données est évaluée sur la base des prix unitaires estimés par AMETEN et permet d'approcher les fluctuations liées aux effets de consultation des entreprises, aux évolutions des prix du marchés, et quantifier les limites de nos connaissances*

Durée brute de chantier (Hors préparation, installation et réception) - hors Traitement Eaux 18 mois ***8,8 mois***

Tableau 71 : Estimation financière sur 18 mois

12.5.6.5 Planning de réalisation

A ce stade, le planning prévisionnel de réalisation pourrait être le suivant :



Globalement, les grandes échéances suivantes sont identifiées :

- Au global, la **libération du site** pour commencer l'aménagement et la construction pourrait être envisagée sous **19 mois** (1,5 ans).
- à l'installation de l'entreprise sur site (et hors délais d'études préliminaires, conception et consultation) les **travaux de traitement pourraient durer environ 1 an**. Le traitement des eaux pourra être poursuivi sur 9 mois complémentaires.
- La surveillance quadriennale sera lancée au bout de cette période.

12.5.7 Contrôles de l'application des mesures de gestion

12.5.7.1 Synthèse des contrôles à effectuer en phase chantier

Dans le cadre de la mise en œuvre des opérations de dépollution, des contrôles en phase chantier sont à prévoir :

- **Contrôles analytiques :**
  - En bord et fond de fouille au droit des zones de pollutions concentrées :
    - Estimation de 110 prélèvements et analyses (ou contrôles des eaux de surface en fonction de la configuration des fond de fouilles),
    - Pack analytique minimal : HC c5-c10, HCT c10-c40, BTEX, HAP, PCB et 8 métaux lourds.
  - Par lots de 250 m^3 de déblais et en sortie de tri (et/ou criblage) :
    - Provision de 104 analyses,
    - Pack analytique minimal : Bilan ISDI suivant AM du 12/12/14 et 12 métaux lourds sur brut.
  - Analyse de terrain à prévoir : PID à minima, Kit Petroflag recommandé.

- **Contrôles topographiques :** Avant, après installation, en fond de fouille, après remblaiement et après repli des installations (Etat final).

- **Contrôles de remblaiement :**
  - Analyse GTR complète,
  - Essais à la plaque et test au pénétromètre,
  - Les contrôles estimés à ce stade seront à adapter en fonction des résultats de l'étude géotechnique préliminaire.

- **Contrôles de traçabilité :**
  - Fichier et système de suivi des lots sur site et Hors site,
  - Traçabilité spécifique des matériaux évacués hors site (CAP/FID/BSDD…).

    La présence de matières dangereuses dans un transport peut être à l'origine d'accidents ou aggraver les conséquences d'accidents de transport. C'est pourquoi, le transport des matières dangereuses fait l'objet d'une réglementation de sécurité spécifique. Dès lors qu'un produit est classé marchandise dangereuse dans l'ADR, celui-ci doit être transporté en respectant un certain nombre de prescriptions relatif au véhicule, à l'emballage, aux documents de transport, à la signalisation, aux règles de circulation, etc….

    Le transporteur devra fournir toutes ses attestations et autorisations relatives aux transports de matériaux pollués.

- **Suivis environnementaux :**
  - Des eaux souterraines : piézomètres en fonctionnement sur site à maintenir pérennes durant les travaux,
  - Des gaz du sol : La mise en place d'un nouveau réseau de piézair sera à prévoir pour permettre le suivi de la qualité des gaz du sol,
  - Des états initiaux (avant travaux), intermédiaire et finaux (après travaux) seront à réaliser sur ces 2 milieux.

- **Contrôle en phase de traitement**

Dans le cadre de la mise en œuvre des opérations de traitement de la nappe, des contrôles d'efficacité en phase de traitement sont à prévoir :

- Contrôle des rejets. Ces prélèvements et mesures sont à prévoir afin de contrôler la qualité des eaux rejetées au milieu et des gaz éventuellement rejetés après leur traitement sur charbon actif. Pour un traitement sur 18 mois, il convient de réaliser à minima :
    - Sur les rejets d'eaux : 2 campagnes par semaine le premier mois puis 1 par semaine les mois suivant avant et après traitement,
    - Sur les rejets gaz : 2 campagnes par mois le premier mois puis 1 par mois les mois suivants après traitement sur charbon actif,
- Campagne de contrôle d'efficacité sur les eaux souterraines. Ces campagnes sont à prévoir sur une dizaine d'ouvrage avec la recherche des paramètres (HCT C_5-C_{40}, HAP, BTEX). Pour une durée de traitement par pompage sur 18 mois, il convient de réaliser :
    - une campagne de prélèvement avant la mise en œuvre du traitement (état initial),
    - une campagne au milieu de la durée de traitement (état intermédiaire),
    - trois campagnes à la fin du traitement afin d'appréhender l'effet rebond dû au relargage des contaminations piégée dans la zone de battement,
- Campagne de contrôle d'efficacité sur les gaz du sol. Ces campagnes sont à prévoir sur un minima de 5 piézairs. Les campagnes de prélèvements seront à coupler avec des analyses en HCT C_5-C_{16}, BTEXN et mercure volatil. Pour une durée de traitement par pompage sur 18 mois, il convient de réaliser :
    - une campagne de prélèvement avant la mise en œuvre du traitement (état initial),
    - une campagne au milieu de la durée de traitement (état intermédiaire),
    - une campagne après stabilisation des effets rebonds.

12.5.7.2 Validation final du chantier et d'atteinte des objectifs

Le dossier des ouvrages exécutés sera réalisé préalablement à la réception des travaux. Ce dernier inclura les éléments suivants :

- Un exposé descriptif du déroulement des travaux :
    - Note descriptive générale des travaux,
    - Synoptique de gestion des terres / matériaux,
    - Organigramme et détail du matériel développé,
    - Planning de réalisation maille/maille,
    - Identification des aléas nécessitant la prise de décision ou Travaux complémentaires,
    - Identification des difficultés rencontrées.
- Un plan comportant le repérage en X et Y et Z des zones traitées en dépollution, avec repérage des analyses menées sur site ou sur déblais et présentation synthétique des résultats de ces analyses,
- Un cahier comportant les résultats intégraux de ces analyses,
- Un plan positionnant les zones où des matériaux ont été stockés / réutilisés, avec pour chaque zone une évaluation des volumes et un détail de la qualité des matériaux (caractéristiques physiques et chimiques),
- Un bilan quantitatif et qualitatif des matériaux traités,
- Les validations topographiques avec les plans correspondants,
- Le bilan des surveillances environnementales mises en œuvre le cas échéant.

Les contrôles des mesures de gestion en phase chantier, permettant de constater l'atteinte des objectifs et la bonne réalisation des travaux, ont été définis :

- contrôles topographiques,
- contrôles analytiques en bords et fonds de fouille des zones de pollution concentrée,
- Les contrôles environnementaux (ESO et Gaz du Sol) afin de constater l'amélioration des milieux.

Les opérations de gestion de la reconversion du site seront validées par la réalisation d'une **analyse des risques résiduels en fin de travaux basées sur des données de gaz du sol** (ARR – mission A320), complétée par un **rapport de fin de travaux** permettant de valider l'atteinte des mesures de gestion mise en œuvre et, le cas échant, définir les prescriptions complémentaires permettant le maintien de la conformité des futurs usages face aux contaminations résiduelles.

Les prescriptions de gestion résiduelles ainsi que les mesures simples de gestion identifiées dès le Plan de Gestion seront détaillées dans un dossier d'institution de servitudes (Mission A400).

Rappelons par ailleurs qu'un impact environnemental avéré a été mis en évidence sur les eaux souterraines au droit du site, avec une migration toutefois faible d'éléments dissouts mais avérée des contaminations hors site. La présente étude n'intègre l'étude des impacts hors site.

AMETEN préconise qu'une action soit également engagée sur ces milieux, afin de suivre la protection et/ou l'amélioration des milieux chez les riverains situés en aval.

Ce plan de gestion doit être donc être mis en parallèle d'une démarche IEM (Interprétation de l'Etat des Milieux), dont l'organisation et la gouvernance doivent être étudiées avec les services instructeurs (DREAL et/ou ARS), la mairie de Bourg-Lès-Valence et la Communauté de Communes (Valence Romans Agglo).

13 CONSERVATION DE LA MEMOIRE ET SERVITUDES

13.1 Cadre et objectifs

Le contexte environnemental résiduel du site, après application des modalités de réhabilitation présentées dans la présente note, nécessitera la mise en œuvre de servitudes, fondées sur le code de l'urbanisme, le code de la santé publique et le code de l'environnement.

Elles ont pour objectifs de définir les conditions et modalités auxquelles sont soumis les propriétaires et exploitants pour l'usage des sols et du sous-sol, dans le but d'assurer, dans le temps, la sécurité et la protection des personnes et de l'environnement par rapport aux pollutions résiduelles présentes dans le sous-sol.

Les besoins de mise en œuvre de servitudes peuvent être regroupés sous 4 thèmes, à savoir :

- Prévenir une exposition dangereuse des personnes,
- Pérenniser la maintenance ou la surveillance du site,
- Prévoir des précautions pour la réalisation d'interventions ou d'aménagements,
- Informer des contraintes liées au site et pérenniser cette information.

13.2 Forme juridique

Les servitudes peuvent prendre la forme notamment de :

- SUP : Servitudes d'Utilité Publique, imposées par les documents d'urbanisme - articles L 515-7 à 12 du code l'Environnement.
- SCDP : Servitudes Conventionnelles de Droit Privé, imposées dans les actes notariés - article 637 du Code civil,
- SCPE : Servitudes Conventionnelles au Profit de l'Etat, soumises à arrêté préfectoral,…

Il convient de ne pas multiplier les supports de servitudes pour ne pas morceler les prescriptions, et ainsi rendre inefficace leur connaissance et application.

13.3 Cadre réglementaire

Les servitudes peuvent comporter :

- La limitation ou l'interdiction des modifications de l'état du sol ou du sous-sol,
- La limitation des usages du sol, du sous-sol et des nappes phréatiques, ainsi que la subordination de ces usages à la mise en œuvre de prescriptions particulières,
- Permettre la mise en œuvre des prescriptions relatives à la surveillance du site.

Dans le cadre de servitudes d'Utilité Publiques, le dossier de demande de servitudes comporte :

- Une notice de présentation,
- Un plan faisant ressortir le périmètre concerné ainsi que les aires correspondant à chaque catégorie de servitudes,
- Un plan parcellaire des terrains et bâtiments indiquant leur affectation actuelle,
- L'énoncé des règles envisagées dans la totalité du périmètre ou dans certaines de ses parties.

Ce dossier est soumis à une enquête publique selon les modalités des articles R.512-14 à R.512-17 et R.512-27 du code de l'environnement. Une information écrite des propriétaires peut lui être substitué lorsqu'un petit nombre des propriétaires ou le caractère limité des surfaces le justifie.

Ce dossier et les avis recueillis lors de l'instruction font l'objet d'un rapport et d'une proposition de servitudes par l'inspection des Installations classées. Ils sont ensuite soumis au CODERST.

Les servitudes sont ensuite instituées par Arrêté Préfectoral, notifié aux propriétaires, au maire et annexé au plan local d'urbanisme ou au document en tenant lieu.

Ces mesures de publicité permettent d'en assurer l'opposabilité aux tiers, en particulier pour tous travaux soumis à déclaration ou à autorisation au titre du droit de l'urbanisme.

13.4 Application à cette opération - A400

Les problématiques résiduelles à intégrer au champ d'action des servitudes concernent :

- Les conditions d'**usage futur du site** (Restrictions d'usage) :
    - l'i**nterdiction d'usage des eaux souterraines** tant que les seuils environnementaux définie ne sont pas atteints,
    - l'interdiction de construire un bâtiment sans **vide sanitaire** ou présence d'un **garage en Rez de Chaussée**,
    - l'**interdiction de planter des arbres fruitiers** au droit du site,
    - L'**interdiction d'infiltration des eaux pluviales** au droit des zones de contaminations résiduelles,
    - l'**interdiction de culture vouée à la consommation** humaine dans les sols du site.
- Les conditions d'usage face aux **contaminations résiduelles** :
    - Les options de gestions décrites dans ce présent document intègrent un recouvrement des sols du site par des terres propres, des parkings ou des bâtiments au droit des zones impactées. Un marquage entre les terres contaminées et les matériaux propres sera mis en place. Tous travaux ultérieurs devront permettre de **pérenniser ces systèmes de marquage** et **garantir le recouvrement des sols** du site au droit des zones impactées.
    - Les travaux ultérieurs effectués au-delà des systèmes de marquage devront répondre à la législation en vigueur en matière de gestion de déblais et **garantir la traçabilité des évacuations hors site** vers des centres de traitement ou de stockage autorisé.
    - Les **canalisations d'amenée d'eau potable ou d'arrosage** seront installées exclusivement dans des matériaux sains, afin d'éviter tout contact entre les canalisations et les terrains en place,
    - Les prescriptions liées à **l'infiltration des eaux pluviales** en dehors des zones contaminées résiduelles.
    - Les prescriptions liées à la réalisation des **espaces verts** et la protection des **systèmes de marquages** :

      La réalisation des espaces verts est conditionnée à la typologie d'essences mises en place.
- **Surveillance environnementale** : un suivi de la qualité des eaux souterraines après les travaux est préconisé afin d'évaluer l'évolution des teneurs résiduelles. A noter que le réseau de surveillance sera à étudier avec les services instructeurs et à mettre en relation avec le suivi Hors-Site lié à la démarche IEM.

15 LIMITES D'UTILISATION D'UNE ETUDE DE POLLUTION

- Une étude de la pollution du milieu souterrain a pour seule fonction de renseigner sur la qualité des sols, des eaux ou des déchets contenus dans le milieu souterrain. Toute utilisation en dehors de ce contexte, dans un but géotechnique par exemple, ne saurait engager la responsabilité de notre société.
- Il est précisé que le diagnostic repose sur une reconnaissance du sous-sol réalisée au moyen de sondages répartis sur le site, soit selon un maillage régulier, soit de façon orientée en fonction des informations historiques ou bien encore en fonction de la localisation des installations qui ont été indiquées par l'exploitant comme pouvant être à l'origine d'une pollution. Ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas, dont l'extension possible est en relation inverse de la densité du maillage de sondages, et qui sont liés à des hétérogénéités toujours possibles en milieu naturel ou artificiel. Par ailleurs, l'inaccessibilité de certaines zones peut entraîner un défaut d'observation non imputable à notre société.
- Le diagnostic rend compte d'un état du milieu à un instant donné. Des évènements ultérieurs au diagnostic (interventions humaines ou phénomènes naturels) peuvent modifier la situation observée à cet instant.

17 CONCLUSION ET PRECONISATIONS

CONTEXTE

La société AVENIR Aménagements envisage la construction d'un ensemble immobilier localisé Route de Talavard sur la commune de BOURG-LES-VALENCE (26). Dans le cadre de ce projet, AVENIR Aménagement a missionné IBSE Ingénierie pour l'assister dans la réalisation du projet.

Le site est actuellement occupé par un terrain industriel en friche, abandonné dans les années 1990 après l'exploitation d'une carrière entre 1940 et 1983, une activité de fabrique de moellons jusqu'en 1985, puis des activités de transports routiers (stockage, réparation, maintenance de véhicules) jusque dans les années 1990.

De nombreuse études environnementale ont été menées depuis 2004 et ont mis en évidence la présence d'une contamination des milieux qu'il convient d'appréhender pour permettre la reconversion du site.

Dans ce cadre, la société IBSE Ingénierie, missionnée par AVENIR Aménagements, a mandaté AMÉTEN pour la réalisation d'un diagnostic environnemental de la qualité des sols et des eaux souterraines (INFOS DIAG), évaluer les conséquences que la présence potentielle de polluants peut avoir sur le projet et établir un Plan de Gestion (PG).

CONTAMINATIONS DES MILIEUX

Les études et diagnostic du site ont mis en évidence la présence de plusieurs contaminations importantes des milieux avec :

- **Des pollutions concentrées en éléments organiques** dans la zone non saturée du site. La contamination principale est centrée sur des épanchements ou accidents survenus sur les stockages d'hydrocarbures, des faits de vandalisme perpétrés sur le transformateur au pyralène du site et éventuellement des incidences des pollutions constatées au droit du collège situé à proximité du site. Les contaminations des milieux concernent alors la présence de fioul et/ou diesel dans les sols, d'huiles minérales et d'huiles de transformateur. Les polluants principaux retrouvés sont les Hydrocarbures en grande partie, et deux points isolés en HAP et PCB. Les teneurs maximales répertoriées en zone saturée sont :

N° zone	Polluant(s)	MAX (mg/kg)	Surface estimée (m²)	% superficie du site
1	**HCT**	849	6 100	13 %
2	**HAP** en SI	209.4	90	0,2 %
7	**HCT, HAP** en SB	HCT = 1510 HAP = 728	175	0,4%
8	**PCB** en P2	4,2 mg/kg en arochlor 1254	63	0,14%

- **Des pollutions en éléments inorganiques** dans la zone non saturée du site avec un caractère remobilisable. L'origine de ces contaminations n'est pas connue, mais peut-être reliée à deux faits :
    - La présence de remblais anthropiques de mauvaise qualité,
    - Les contaminations organiques (dont les produits de bases peuvent en partie être composés de métaux lourds).

Les teneurs maximales répertoriées en zone saturée sont :

N° zone	Polluant(s)	MAX (mg/kg)	Surface estimée (m²)	% superficie du site
3	**Métaux sur éluat** (Plomb, Mercure et Antimoine) en P06	Pb = 170 mg/kg	1800	4 %
4	**Mercure sur brut et éluat** en P07	Hg = 125 mg/kg	1200	2,6 %
5	**Métaux sur éluat** (Plomb et Zinc) en P25 et P26	Pb éluat = 0,66 Zn éluat = 9,3	1400	3 %
6	**Métaux sur éluat** (Chrome) en P45	Cr éluat = 1,07	850	1,9%
9	**Métaux sur brut** (Arsenic, Cadmium, Cuivre, Plomb, Zinc)	Cf. analyse stat	14 500	32%

- **Une pollution des eaux souterraines en hydrocarbures**, avec la présence d'une phase flottante étendue au droit du site. La phase dissoute semble restreinte, car seule des teneurs inférieures au seuil de potabilité des eaux brutes de l'AM de 11/11/07 sont observées en aval du site. Ce point reste à surveiller et étudier de façon plus approfondie dans une démarche IEM hors site. La lentille d'hydrocarbures représente environ 14 à 25 000 m² pour une quantité estimée à 1000 tonnes de produit pur. Les coupes pétrolières sont différentes sur les 2 ouvrages G5 et G6, avec pour l'un, un chromatogramme typique de gasoil ou fioul lourd et pour l'autre, une coupe significative d'huile minérale.

  A noter que les eaux souterraines sont situées en partie Nord à faible profondeur (entre 1 et 2 m / TN), puis plongent sur le dernier tiers Sud du site pour se situer vers 10 m / TN. La nappe est libre, globalement productive et vulnérable, car des usages en aval sont avérés.

- **La présence de déchets divers** (Déchets Industriels Spéciaux, DIB ou déchets du BTP), avec notamment des débris de plaques de fibrociment (amiante), des bidons de produits chimiques encore pleins… Il a été détecté sur plusieurs sondages la présence de déchets au sein des terres du site. Un tri par criblage pourra être envisagé pour permettre leur séparation et gestions différenciées.

- **La présence de cuves** toujours en place qui devront être dégazées, inertées et évacuées.

Les données interprétées des diagnostics ont permis d'établir les quantités suivantes à mettre en gestion dans le cadre du projet de requalification du site :

	TERRES EN GESTION						**PHASE PURE** à une profondeur > 4 m - traitement par pompage sur site
	Pollutions concentrées sur site					Terres contaminées par la phase pure accessible sur site (<4 m)	
	HCT	**HAP**	**Métaux**	**PCB**	**TOTAL pollutions concentrées**		
Masse (tonnes)	7 925	720	16 930	115	25 680	6 400	300

PROJET /USAGES FUTURS

Le diagnostic concerne les parcelles AK6, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 62, 63, 64 pour une superficie d'environ 45 175 m².

Le projet d'aménagement en est au stade esquisse. L'objectif du maître d'ouvrage est la réalisation d'une opération d'aménagement destinée au logement avec une mixité des habitations collectives, semi-collectives et individuelles. Il est prévu la réalisation :

- De 152 logements ;
- Des espaces verts ;
- Des voiries et zones de stationnement.

Aucun niveau de sous-sol n'est prévu. Les fondations des bâtiments prévus sont sur pilotis. Les terrassements seront donc limités, excepté au niveau des voiries pour l'enfouissement des réseaux.

Il est prévu une noue d'infiltration paysagère pour la gestion des eaux pluviales.

On retient qu'en l'état des connaissances, l'étude de risque sanitaire établie au sein du présent document implique la nécessité d'intégrer des dispositions constructives complémentaires :

- *un vide sanitaire de minimum 40 cm*
- *ou la présence de garage en Rez-de-chaussée.*

OPTIONS DE GESTION

Le plan de gestion vise à proposer des scénarii permettant de concilier la gestion de l'impact sanitaire (mise en compatibilité sanitaire du site avec son usage résidentiel futur) et la gestion de l'impact environnemental. Dans cette optique, deux scénarios peuvent être envisagés et permettront de supprimer l'exposition future des usagers tout en améliorant le milieu. Ces deux scénarios sont les suivants :

- **Scénario SC1 : Viabilisation maximale du tènement par suppression des pollutions organiques et inorganiques concentrées.**

  Ce scénario comprend :

  - La suppression des pollutions concentrées organiques et inorganiques ; par excavation, tri (et prétraitement) et évacuation vers les filières Hors Site dûment autorisées,
  - La suppression de la phase pure par excavation dans la partie Nord associée à du pompage traitement en fond de fouille, puis en partie Sud par du pompage traitement sur barrière hydraulique.
  - La mise en place de mesures constructives adaptées (vide sanitaire) et/ou la modification de la configuration spatiale du schéma d'aménagement (constructions sur garages au droit des zones contaminées résiduelles).

  ⇨ **Estimation financière pour la prestation : ..... de 3,4 à 4,3 M€ HT**

- **Scénario SC2 : Suppression des seules pollutions organiques concentrées et contrôle des voies de transferts pour les pollutions inorganiques et organiques résiduelles.**

  Ce scénario comprend :

  - La suppression des pollutions concentrées organiques et inorganiques ; par excavation, tri (et prétraitement) et évacuation vers les filières Hors Site dûment autorisées,
  - La suppression de la phase pure par excavation dans la partie Nord associée à du pompage traitement en fond de fouille, puis en partie Sud par du pompage traitement sur barrière hydraulique.

- La mise en place de mesures constructives adaptées (vide sanitaire) et/ou la modification de la configuration spatiale du schéma d'aménagement (constructions sur garages au droit des zones contaminées résiduelles).
- Le recouvrement des surfaces impactées en composés inorganiques et la mise en place de servitudes et restrictions d'usage concernant les jardins potagers, les arbres fruitiers (sauf en hors-sol) et l'infiltration des eaux pluviales.

⇨ **Estimation financière pour la prestation : ..... de 2,1 à 2,8 M€ HT**

Dans le cadre de la réhabilitation du site, il sera donc nécessaire d'agir sur **les sources même de contamination**, mais également **sur les mesures constructives du projet**, pour remplir l'ensemble des objectifs et obligations règlementaires.

Les critères retenus dans le cadre du bilan coûts / avantages sont :

- Critères techniques associés à la faisabilité de la mesure de gestion retenue, à la gestion des incertitudes et aux délais de mise en œuvre,
- Critères environnementaux associés au bilan carbone, aux déchets associés aux travaux et la présence de contraintes résiduelles,
- Critère économique lié aux coûts associés à la mise en œuvre des mesures de gestion retenues.

Le bilan coûts / avantages réalisés a permis de mettre en évidence que le **SCENARIO 2** (**Traitement des seuls contaminations organiques**) présente le meilleur équilibre technique, économique et environnemental. Ainsi le budget associé aux travaux de réhabilitation est d'environ **2,1 M€** hors taxes (pour une solution optimisée avec criblage préalable) à **2,8 M€ HT** (sans optimisation), pour une durée de traitement des 2/3 Nord du site sur **9 mois** et une fin de traitement de la partie Sud sur 9 à 15 mois complémentaires, mais avec possibilités de commencer l'aménagement et/ou l'exploitation du site.

Les incertitudes liées à nos estimations financières ont été quantifiées et s'échelonnent de 14 à 23% selon les scénarii.

Les servitudes et restrictions d'usages à envisager en fin de réhabilitation sont en première approximation :

- Les conditions d'**usage futur du site** (Restrictions d'usage) :
  - l'i**nterdiction d'usage des eaux souterraines** tant que les seuils environnementaux définie ne sont pas atteints,
  - l'interdiction de construire un bâtiment sans **vide sanitaire** ou présence d'un **garage en Rez de Chaussé**,
  - l'**interdiction de planter des arbres fruitiers** au droit du site,
  - L'**interdiction d'infiltration des eaux pluviales** au droit des zones de contaminations résiduelles,
  - l'**interdiction de culture vouée à la consommation humaine** dans les sols du site.
- Les conditions d'usage face aux **contaminations résiduelles** :
  - **Pérennité des systèmes de marquage** et **garantir le recouvrement des sols** du site au droit des zones impactées.
  - **Garantir la traçabilité des évacuations de terres hors site** vers des centres de traitement ou de stockage autorisé.
  - **Canalisations d'amenée d'eau potable ou d'arrosage** à installées exclusivement dans des matériaux sains,
  - **L'infiltration des eaux pluviales** en dehors des zones contaminées résiduelles.
  - La réalisation des **espaces verts** étudiée en vue de la protection des **systèmes de marquages**.
- **La surveillance environnementale**.

PRECONISATIONS SUR LES SUITES A DONNER

Les écarts de montants par scénario et les incertitudes restent grands de par plusieurs critères identifiés et listés au sein des documents et qui pourront être affermis au stade Projet au sein du Plan de Conception de Travaux. Des pistes d'optimisation importantes peuvent être recherchées et même permettre d'améliorer l'équilibre financier de la solution à déployer. Ces pistes d'optimisation principales concernent :

1) L'**efficacité des prétraitements par criblage** pour l'abattement des masses de terres contaminées à gérer vers les filières extérieurs,
2) La **modification de la configuration spatiale du schéma d'aménagement**, en priorisant, entre autre, les constructions sur garage au droit des zones contaminées résiduelles,
3) Les **effets de consultations** auprès de centre de tri et acceptation autorisé, qui permet, notamment sur de grande quantité de réduire de façon importante les coûts à la tonne,
4) L'**amélioration du traitement** du panache Sud par pompage après obtention des données de dimensionnement hydrogéologique (actuellement, l'estimation est fondée sur 10 puits),
5) La **limitation des déblais de terrassement** et l'**équilibre de gestion globale des matériaux** au sein du projet de terrassement ET de construction/aménagement,
6) Les **possibilités de recyclage et de revalorisation** des matériaux au sein des aménagements au lieu de prévoir l'apport de matériaux de carrière extérieure,
7) Les possibilités de **recherche d'aides et subventions** pour la reconversion des friches polluées (notamment dans le cadre d'ancien site BASOL et de sites orphelins ou à responsable défaillant).

Les études suivantes sont alors préconisées pour aboutir la **conception du projet de travaux de réhabilitation** :

- Un **diagnostic complémentaire** sur les sols dans le but de rechercher les extensions de la contamination des sols mercure autour de P07 ..... *Mission A200*
- 2 campagnes de **mesures des gaz du sol** sur un réseau de surveillance suffisant .....
  ..... *Mission A230*
- Installation de **piézomètres complémentaires** au droit des zones impactées, de manière à vérifier la continuité de la phase flottante au droit du site, ou au contraire, sa répartition en lentilles non connectées..... *Mission A210*
- **Essais de traitabilité** en laboratoire adapté aux prétraitements (Criblage / lavage) et traitements envisagés (oxydation/réduction)..... *Mission B111*
- **Essai de tri** en vue de la quantification de la fraction « déchet » potentiellement incluse dans les sols du site..... *Mission B111*
- **Essai de recyclage** en vue d'établir les possibilités de revalorisation géotechnique des matériaux issus d'un criblage et/ou concassage en vue d'une utilisation pour la construction des infrastructures du projet..... *Mission B111*
- **Essai de pompage et essai de réinjection**, en vue de permettre le dimensionnement des traitements de nappe..... *Mission B112*
- **La mise à jour de l'ARR** sur la base des données de Gaz du sol et d'eaux souterraines complémentaires..... *Mission A320*
- La réalisation du **Plan de Conception de Travaux** ..... *Mission PCT*

En parallèle, les risques potentiels hors site devront être traités au travers d'une **démarche IEM**, dont l'organisation et la gouvernance doivent être étudiées avec les services instructeurs (DREAL et/ou ARS), la mairie de Bourg-Lès-Valence et la Communauté de Communes.

Il est par ailleurs conseillé au Maître d'Ouvrage, dans le cadre de la conception de la requalification du site, de faire réaliser les **diagnostics réglementaires amiante et déchet avant démolition** afin de définir les tonnages concernés.

Un **mise en sécurité prioritaire** du site peut par ailleurs être nécessaire en amont des travaux, notamment concernant la sécurisation des accès et l'élimination des déchets dangereux encore dispersés (et représentant un risque de dégradation des milieux) vers les filières spécialisées.