

## Anorlame – Anor

# Etude historique, diagnostic de la qualité des sols et des eaux souterraines

Réf. Entime 6327-006-002 / Rév. A / 27.08.2020

Rév.	Date	Rédaction	Vérification	Validation
A	27/08/2020	M. Deswarte	G. Saint-Maxin	M. El Ouafi
Visa				

**Ingénierie environnementale. Prélèvements et mesures sol, eau et air.**

14 av. de l'Europe - BP 90195 - 59421 Armentières Cedex  
Tél. 03 20 18 17 00 - Fax. 03 20 18 17 09 - [www.entime.fr](http://www.entime.fr)

## Sommaire

<b>I</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>II</b>	<b>DOCUMENTS DE REFERENCE .....</b>	<b>6</b>
<b>III</b>	<b>PRESENTATION DU SITE .....</b>	<b>7</b>
<b>IV</b>	<b>HISTORIQUE DES INVESTIGATIONS.....</b>	<b>8</b>
IV.1	Synthèse des investigations menées .....	8
IV.2	Typologie des investigations réalisées .....	11
IV.3	Qualité du sol .....	11
IV.3.1	Nature du sous-sol .....	11
IV.3.2	Valeurs de référence .....	12
IV.3.3	Résultats d'analyses.....	13
IV.3.4	Synthèse .....	15
IV.4	Qualité des eaux souterraines .....	15
IV.4.1	Localisation et caractéristiques des piézomètres.....	15
IV.4.2	Valeurs de référence .....	17
IV.4.3	Résultats d'analyses.....	17
IV.4.4	Synthèse .....	19
<b>V</b>	<b>SYNTHESE DU DIAGNOSTIC.....</b>	<b>20</b>
<b>VI</b>	<b>ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS.....</b>	<b>22</b>
VI.1	Méthodologie.....	22
VI.2	Caractérisation du risque .....	23
VI.2.1	Sources de pollution .....	23
VI.2.2	Voie d'exposition.....	23
VI.2.3	Caractéristiques toxicologiques.....	24
VI.3	Calcul du risque .....	25
VI.3.1	Modèle de transfert .....	25
VI.3.2	Incertitudes .....	29
VI.3.3	Distinctions agents à seuil/sans seuil .....	30
VI.3.4	Détermination du risque sanitaire par inhalation .....	31
VI.4	Conclusion de l'analyse des risques résiduels .....	33
<b>VII</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>34</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation du site (source : Géoportail).....	7
Figure 2 : Plan d'échantillonnage .....	9
Figure 3 : Plan d'échantillonnage .....	10
Figure 4 : Coupe géologique simplifiée des sondages .....	12
Figure 5 : Coupe schématique des piézomètres.....	16
Figure 6 : Synthèse des investigations.....	21
Figure 7 : Méthodologie de l'ARR .....	22

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des investigations menées par Entime .....	11
Tableau 2 : Qualité du sol .....	14
Tableau 3 : Caractéristiques des piézomètres .....	16
Tableau 4 : Qualité de la nappe.....	18
Tableau 5 : Terme source – Concentrations retenues dans les sols .....	23
Tableau 6 : Valeurs Toxicologiques de Référence – Inhalation .....	24
Tableau 7 : Effets chez l'homme des substances retenues pour l'étude.....	25
Tableau 8 : Eléments de paramétrage du modèle Modul'ERS (1/2) .....	27
Tableau 9 : Eléments de paramétrage du modèle Modul'ERS (2/2) .....	28
Tableau 10 : Hypothèses et incertitudes .....	29
Tableau 11 : Distinction entre agents à seuil et agents sans seuil.....	30
Tableau 12 : Doses administrées – Inhalation .....	31
Tableau 13 : Quotients de danger – Inhalation .....	32
Tableau 14 : Excès de risque individuel – Inhalation.....	33

## I INTRODUCTION

La fonderie Aciéries et Forges d'Anor, située 40 rue du Maréchal Foch sur la commune d'Anor, était spécialisée dans la fonderie d'acier et la fabrication d'outils coupant pour l'industrie.

Dans le cadre de la revente des terrains, et afin d'évaluer le passif environnemental, la CCSA souhaitait connaître l'état de la qualité des sols et des eaux souterraines au droit du site.

A cet effet, une campagne d'investigations comprenant 48 sondages de sol et la pose de 2 piézomètres provisoires a été réalisée en août 2019. Un plan de gestion ainsi qu'une évaluation des risques résiduels ont également été réalisés pour valider la compatibilité entre les mesures de gestion prescrites et l'usage futur prévu sur le site.

Le présent document reprend les résultats des investigations réalisées au niveau des bâtiments repris par la société Anorlame.

## II DOCUMENTS DE REFERENCE

Les documents de référence pour l'élaboration de ce rapport sont les suivants :

- ✱ LNE – Référentiel de certification de service des prestataires dans le domaine des sites et sols pollués – réf. LNE/PCP/SJ – Révision n°5 du 05/07/2019.
- ✱ Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués – Avril 2017 – Guide réalisé par le Ministère.
- ✱ Programme ASPITET de l'INRA – Teneurs totales en « métaux lourds » dans les sols français – INRA – Février 2000.
- ✱ Référentiel pédogéochimique du Nord Pas de Calais – INRA – Octobre 2002.
- ✱ Diagnostic de la qualité des sols et des eaux souterraines sous référence Entime 5849-006-001 / Rév.B / 18.09.2019.
- ✱ Evaluation quantitative des risques sanitaires et plan de gestion sous référence Entime 5953-006-001 / Rév. A / 04.03.2020.

### III PRESENTATION DU SITE

La fonderie d'Anor est implantée au 40 rue du Maréchal Foch sur la commune d'Anor (59012), dans le département du Nord. La zone en violet correspond à la partie du site objet de la présente étude (Figure 1).

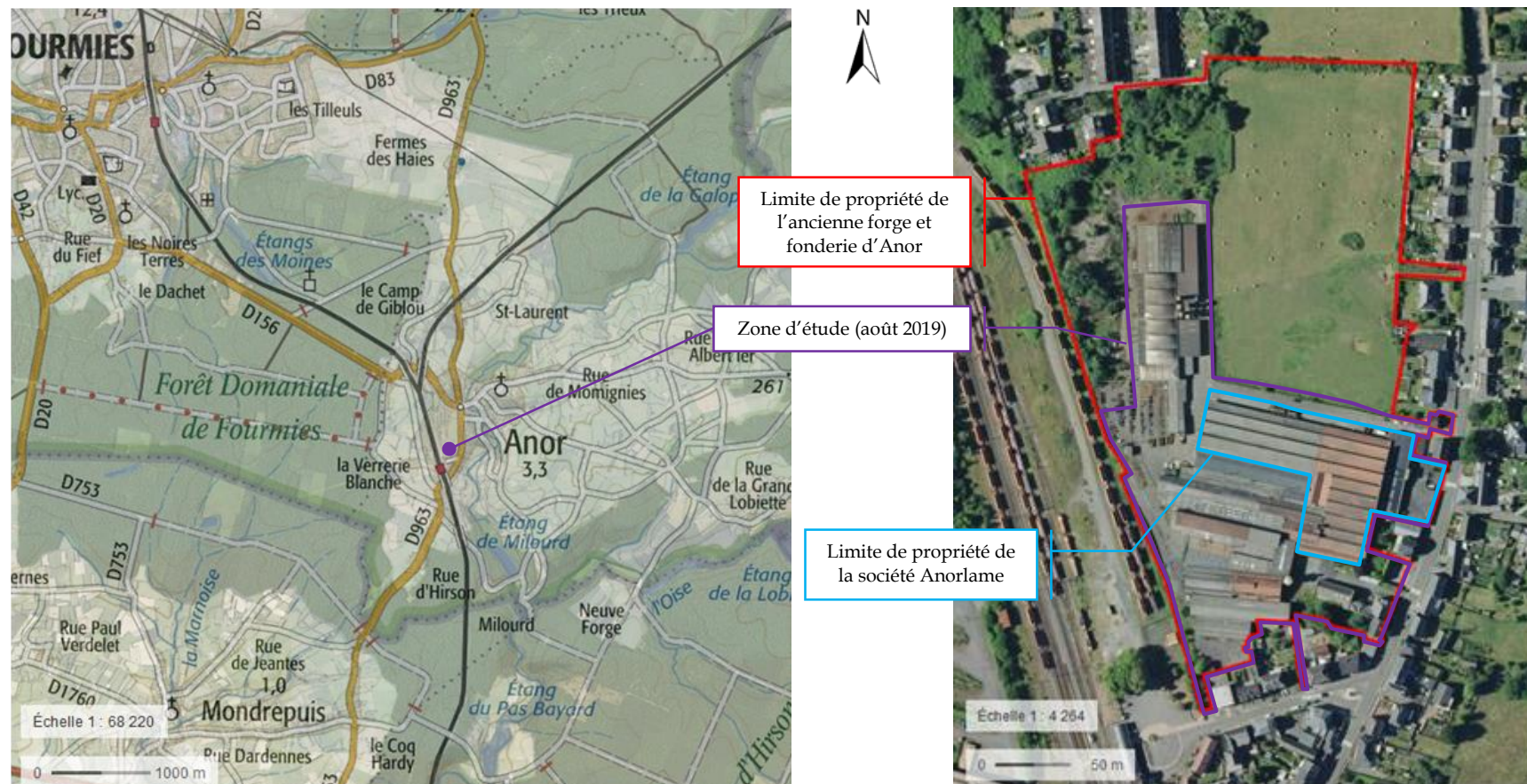


Figure 1 : Localisation du site (source : Géoportail)

## **IV HISTORIQUE DES INVESTIGATIONS**

### **IV.1 Synthèse des investigations menées**

La Figure 2 reprend la synthèse de l'ensemble des investigations réalisées au droit du site Anorlame.



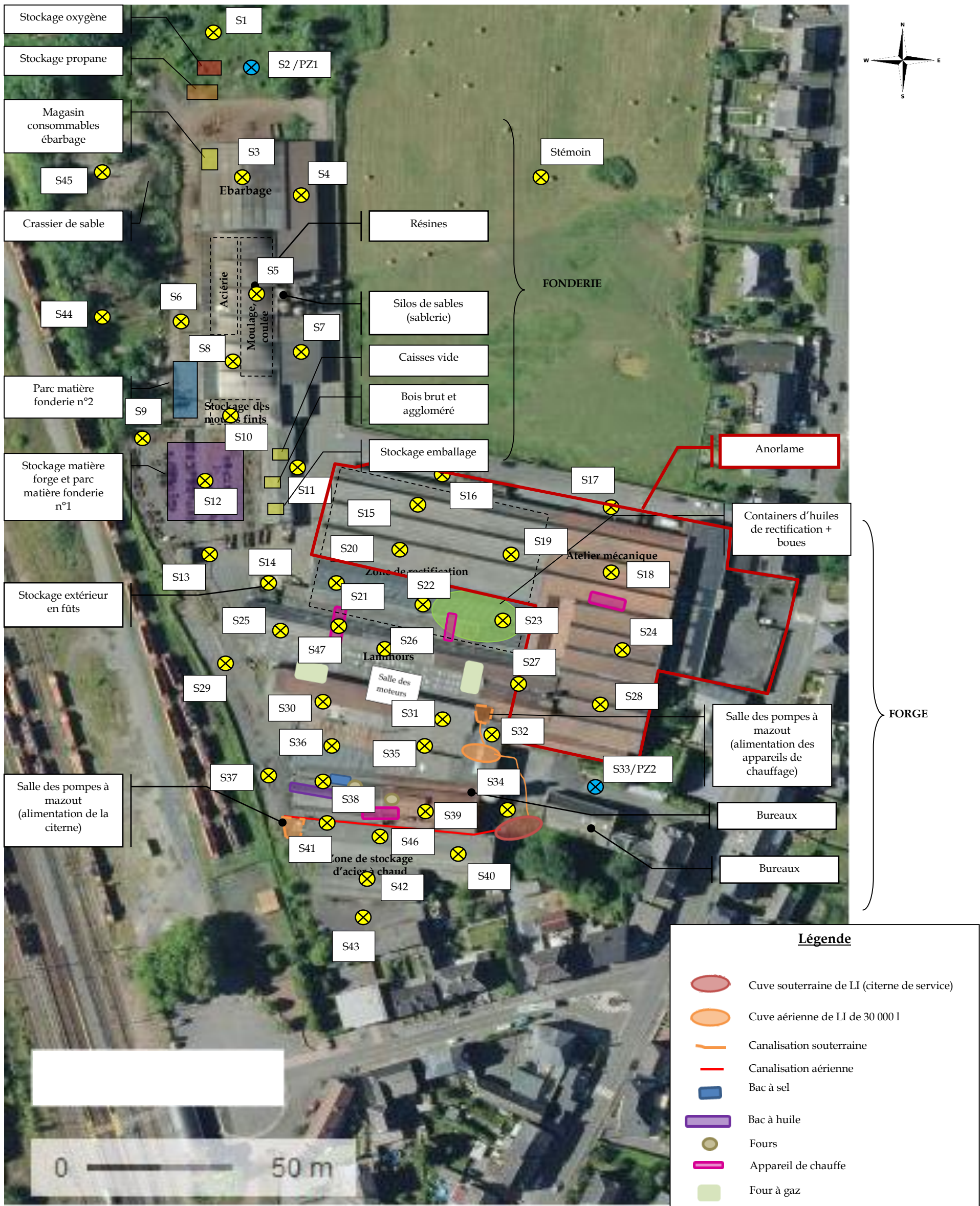


Figure 2 : Plan d'échantillonnage

La Figure 3 reprend les investigations réalisées au droit de l'emprise de la société Anorlame.





Figure 3 : Plan d'échantillonnage

## IV.2 Typologie des investigations réalisées

Le Tableau 1 reprend et décrit les investigations menées sur le site.

Etude	Matrice investiguée	Type d'investigation	Paramètres analysés
Août 2019 Réf. Entime 5849-006-001 / Rév. B / 18.09.2019	Sol	Réalisation de 48 sondages de sol dont 8 sur l'emprise du futur site Anorlame.	Métaux, hydrocarbures, HAP, COHV, BTEX, PCB, indice phénol
	Nappe souterraine	Pose de 2 piézomètres provisoires	Métaux, hydrocarbures, HAP, COHV, BTEX, PCB, indice phénol

**Tableau 1 : Synthèse des investigations menées par Entime**

## IV.3 Qualité du sol

### IV.3.1 Nature du sous-sol

Les coupes géologiques simplifiées des points de sondage localisés sur l'emprise du site Anorlame sont rappelées en Figure 4.

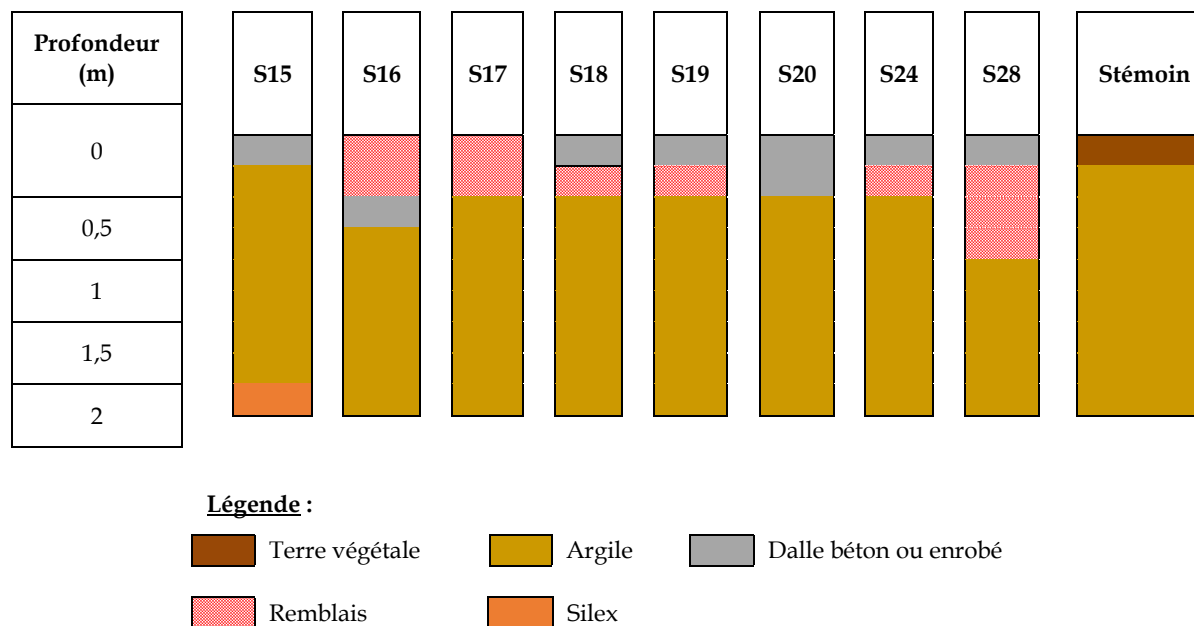


Figure 4 : Coupe géologique simplifiée des sondages

### IV.3.2 Valeurs de référence

La teneur en éléments traces sur échantillon brut est comparée au bruit de fond géochimique local, conformément aux recommandations faites en termes de gestion des sites et sols potentiellement pollués.

Le bruit de fond géochimique local correspond à la teneur en éléments traces dans les sols, susceptibles d'être les plus proches des concentrations originelles ou naturelles des sols, c'est-à-dire non, ou peu influencé par l'action de l'homme.

Les valeurs prises comme référence par ordre d'importance correspondent :

- \* Au point témoin : Stémoin.
- \* Au référentiel pédogéochimique du Nord-Pas-de-Calais, pour les limons lœssiques, sous prairie.

- ✱ Aux valeurs du programme national ASPITET de l'INRA, pour les gammes de valeurs couramment observées dans les sols « ordinaires » de toutes granulométries.
- ✱ Pour les HCT, HAP, COHV, BTEX et Indice phénol, il n'existe pas de valeur réglementaire, considérant que ces paramètres ne peuvent être présents naturellement dans les sols.

### **IV.3.3 Résultats d'analyses**

Les résultats d'analyses sur les remblais sont donnés dans le Tableau 2.





Paramètres		S15	S16	S17	S18	S19	S20	S24	S28	STémoïn	ASPITET	RPG du NPdC
Analyses sur brut												
	Aluminium	22000	15000	25000	22000	24000	17000	23000	16000	22000	-	42 300 à 57 000
	Antimoine	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1	< 1	-	0,45 à 0,74
	Arsenic	7,8	15	22	12	6,9	16	10	14	10	1,0 à 25,0	6,4 à 12,7
	Baryum	40	33	97	56	50	650	63	73	84	-	-
	Cadmium	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,2	< 0,2	0,05 à 0,45	0,02 à 0,19
	Chrome	65	630	200	73	68	81	58	28	59	10 à 90	58,3 à 78,1
	Cuivre	5,5	22	13	11	6,3	8,9	13	24	14	2 à 20	10,8 à 16
	Mercuré	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	< 0,05	0,02 à 0,10	0,02 à 0,051
	Plomb	< 10	< 10	35	19	< 10	< 10	18	14	20	9 à 50	15,1 à 27,1
	Manganèse	69	200	88	150	40	95	97	250	270	-	200 à 841
	Molybdène	0,92	54	16	2,3	1,2	4	1	2,2	1,9	-	0,35 à 0,73
	Nickel	12	92	51	23	13	17	23	23	35	2 à 60	20,9 à 35,3
	Sélénium	< 0,5	< 0,5	0,78	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,64	0,61	-	0,1 à 0,35
	Fer	27000	34000	53000	33000	27000	42000	34000	24000	28000	-	22100 à 34300
	Zinc	16	16	23	36	15	21	32	21	55	10 à 100	43,8 à 67,9
	Benzène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Toluène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Éthylbenzène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Ortho xylène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Para- Et Méta xylène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Xylènes	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	-	-
	BTEX Totaux	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-
	Naphtalène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	-	-
	Acénaphtylène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	-	-
	Acénaphène	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	-	-
	Fluorène	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	-	-
	Phénanthrène	< 0,01	0,04	< 0,01	0,01	< 0,01	0,06	0,01	0,02	0,24	-	-
	Anthracène	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	0,04	-	-
	Fluoranthène	< 0,01	0,02	0,02	0,01	< 0,01	0,13	0,02	0,02	0,41	-	-
	Pyrène	< 0,01	0,02	0,01	0,02	< 0,01	0,11	0,02	0,02	0,3	-	-
	Benzo(a)Anthracène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,06	0,02	< 0,01	0,15	-	-
	Chrysène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05	0,02	< 0,01	0,14	-	-
	Benzo(b)Fluoranthène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,04	0,02	< 0,01	0,15	-	-
	Benzo(k)Fluoranthène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,01	< 0,01	0,08	-	-
	Benzo(a)Pyrène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	0,02	< 0,01	0,14	-	-
	Dibenzo(ah)Anthracène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	-	-
	Benzo(ghi)Pérylène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03	0,02	< 0,01	0,1	-	-
	Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	< 0,01	0,1	-	-
	Somme des HAP (16) - EPA	< LQ	0,12	0,03	0,06	< LQ	0,58	0,18	0,06	1,94	-	-
	Tétrachloroéthylène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Trichloroéthylène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	1,1-dichloroéthène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Cis-1,2-dichloroéthène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,03	< 0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Trans-1,2-dichloroéthylène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Chlorure de vinyle	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	1,1,1-trichloroéthane	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	1,2-dichloroéthane	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Tétrachlorométhane	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Chloroforme	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Dichlorométhane	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	1,2-dichloropropane	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Trans-1,3-dichloropropène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Cis-1,3-dichloropropène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Bromoforme	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	Hexachlorobutadiène	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
	PCB Totaux (7)	< LQ	0,0083	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-
	Hydrocarbures totaux C10-C40	240	454	< LQ	385	< LQ	100	1329	627	22	-	-
	COT	< 2000	2200	6300	< 2000	< 2000	5600	2800	13000	4300	-	-
	Indice Phénol	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-	-

Tableau 2 : Qualité du sol

#### **IV.3.4 Synthèse**

Les analyses réalisées permettent de dresser les constats suivants :

- ✱ On ne note pas de contamination généralisée par les métaux. Mais certains métaux sont retrouvés dans des concentrations très importantes (chrome, nickel, molybdène, sélénium et fer).
- ✱ Pour les composés organiques :
  - ⇒ Pas de traces de BTEX.
  - ⇒ Présence de HAP dans des concentrations relativement faibles.
  - ⇒ Pas de COHV.
  - ⇒ Quelques traces de PCB.
  - ⇒ On retrouve également des hydrocarbures dans des concentrations variables.

### **IV.4 Qualité des eaux souterraines**

#### **IV.4.1 Localisation et caractéristiques des piézomètres**

Les piézomètres sont localisés à la Figure 2. Aucun sens d'écoulement de la nappe n'a pu être identifié, seuls 2 des 3 piézomètres prévus initialement ont pu être posés. De plus, les piézomètres n'ont pas fait l'objet d'un nivellement et ne sont pas positionnés à proximité d'un point de repère nivelé.

Les caractéristiques de ces piézomètres sont données au Tableau 3.

N°	Localisation	Altitude de l'ouvrage au sol (mNGF)	Profondeur du PZ (m/sol)	Niveau de la nappe après stabilisation		Aquifère investigué	Date de création	Date de prélèvement
				m/sol	mNGF			
PZ1	Latitude : 49,98824° Longitude : 4,09365°	243	3,66	3,56	239,44	Nappe superficielle	20/08/2019	28/08/2019
PZ2	Latitude : 49,98594° Longitude : 4,09576°	238	4,17	3,71	234,29			

Tableau 3 : Caractéristiques des piézomètres

Une coupe des piézomètres est donnée à la Figure 5.

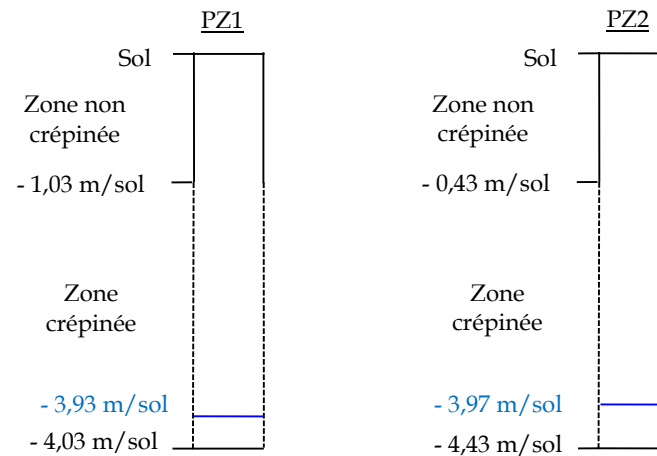


Figure 5 : Coupe schématique des piézomètres



#### **IV.4.2 Valeurs de référence**

Les valeurs de référence, utilisées pour déterminer si les eaux souterraines au droit du site sont de bonne qualité, sont les valeurs limites du SDAGE Artois Picardie 2016-2021 relatives à la qualité des masses d'eaux souterraines.

#### **IV.4.3 Résultats d'analyses**

Les résultats d'analyses sont donnés dans le Tableau 4.



Paramètres (µg/l)	PZ1	PZ2	Valeur SDAGE
Métaux			
Aluminium	< 50	16000	200
Antimoine	< 2	5,3	5
Arsenic	43	6,3	10
Baryum	91	410	700
Cadmium	< 0,2	1,3	5
Chrome	1,8	1300	50
Cuivre	< 2	230	2000
Mercure	< 0,05	0,18	1
Plomb	< 2	59	10
Manganèse	300	4600	50
Molybdène	8,6	4,8	70
Nickel	10	190	20
Sélénium	< 3,9	< 3,9	10
Fer	4400	63000	200
Zinc	< 10	270	5000
Composés Organiques Volatils			
Benzène	< 0,2	< 0,2	1
Toluène	0,88	1,6	700
Éthylbenzène	< 0,2	< 0,2	300
Orthoxylène	< 0,2	< 0,2	-
Para- Et Métaxylène	0,34	0,33	-
Xylènes	< 0,4	< 0,4	500
BTEX Totaux	1,22	1,93	-
HAP			
Naphtalène	< 0,1	0,13	-
Acénaphtylène	< 0,1	< 0,1	-
Acénaphène	< 0,1	< 0,1	-
Fluorène	< 0,05	< 0,05	-
Phénanthrène	< 0,02	< 0,02	-
Anthracène	< 0,02	< 0,02	-
Fluoranthène	< 0,02	< 0,02	-
Pyrène	< 0,02	< 0,02	-
Benzo(a)Anthracène	< 0,02	< 0,02	-
Chrysène	< 0,02	< 0,02	-
Benzo(b)Fluoranthène	< 0,02	< 0,02	-
Benzo(k)Fluoranthène	< 0,01	< 0,01	-
Benzo(a)Pyrène	< 0,01	< 0,01	0,01
Dibenzo(ah)Anthracène	< 0,02	< 0,02	-
Benzo(ghi)Pérylène	< 0,02	< 0,02	-
Indéno(1,2,3-cd)Pyrène	< 0,02	< 0,02	-
Somme des HAP (6)	< LQ	< LQ	1
Somme des HAP (16) - EPA	< LQ	0,13	-
COHV			
Tétrachloroéthylène	< 0,1	< 0,1	10
Trichloroéthylène	< 0,1	< 0,1	
1,1-dichloroéthène	< 0,5	< 0,5	-
Cis-1,2-dichloroéthylène	< 0,1	< 0,1	50
Trans-1,2-dichloroéthylène	< 0,1	< 0,1	
Chlorure de vinyle	< 0,2	< 0,2	0,5
1,1,1-trichloroéthane	< 0,1	< 0,1	-
1,2-dichloroéthane	< 0,1	< 0,1	3
Tétrachlorométhane	< 0,1	< 0,1	4
Chloroforme	< 0,1	< 0,1	-
Dichlorométhane	< 1	< 1	-
1,2-dichloropropane	< 0,5	< 0,5	40
Trans-1,3-dichloropropène	< 0,5	< 0,5	20
Cis-1,3-dichloropropène	< 0,5	< 0,5	20
Bromoforme	< 0,5	< 0,5	100
Hexachlorobutadiène	< 0,5	< 0,5	0,6
PCB			
PCB Totaux (7)	< LQ		-
Hydrocarbures Totaux			
Hydrocarbures totaux C10-C40	< LQ	80	1000
Autres			
COT	6000	9600	-
Indice Phénol	< 10	< 10	-

Tableau 4 : Qualité de la nappe

#### **IV.4.4 Synthèse**

L'analyse des eaux de la nappe révèle la présence de métaux, dans des concentrations très élevées pour des paramètres comme l'aluminium, le chrome, le manganèse ou le fer. Les autres paramètres sont conformes aux valeurs limites du SDAGE Artois Picardie 2016-2021.

## **V SYNTHÈSE DU DIAGNOSTIC**

La Figure 6 présente la localisation des spots de pollution identifiés sur l'emprise de la société Anorlame. Le plan de gestion réalisé en février 2020 préconise l'excavation des spots aux points S16 et S33. Les travaux de dépollution seront réalisés par l'EPF.





Figure 6 : Synthèse des investigations

## VI ANALYSE DES RISQUES RESIDUELS

### VI.1 Méthodologie

L'analyse des risques résiduels est une démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires, réalisée à la suite d'un plan de gestion, de manière à vérifier que les mesures de gestion prévues dans le cadre de la réhabilitation d'un site sont en cohérence avec les usages futurs fixés. On vérifie ainsi l'acceptabilité d'un éventuel risque sanitaire pour les populations et l'environnement vis-à-vis des pollutions identifiées. La méthodologie de cette démarche est donnée dans la Figure 7.

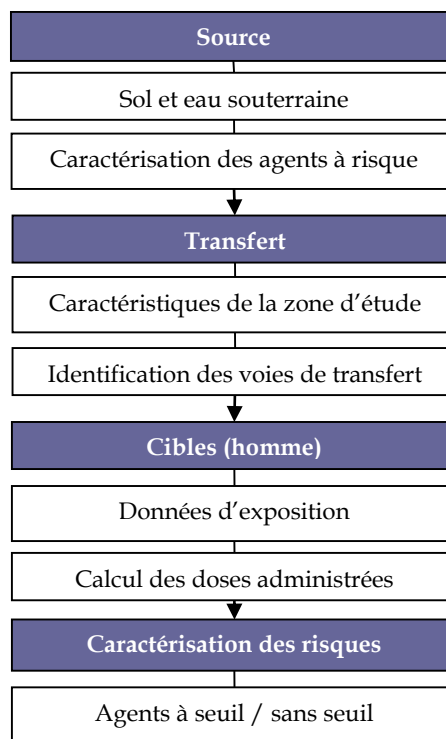


Figure 7 : Méthodologie de l'ARR

## VI.2 Caractérisation du risque

### VI.2.1 Sources de pollution

Le terme « source résiduelle » est constitué des contaminations résiduelles. Il s'agit des contaminations maximales présentes sur le site après mise en œuvre des mesures de gestion. Les valeurs retenues sont celles mesurées dans les sols au niveau de l'emprise de la société Anorlame ; elles sont données dans le Tableau 5.

Les composés suivants sont retenus :

- ✱ Les hydrocarbures volatils de fraction carbonée C12-C16.
- ✱ Les HAP : le benzo(a)pyrène (composé le plus toxique de cette famille, il a donc été choisi comme indicateur pour les HAP).

Les métaux ne sont pas retenus étant donné que les mesures de gestion permettent de couper toute voie d'exposition les concernant.

Les BTEX n'étant pas détectés sur les sondages réalisés dans l'emprise d'Anorlame, ces derniers ne seront également pas retenus.

Concentrations	Substance		Terme source	Voies d'exposition concernées
Concentration dans l'air intérieur et extérieur	HAP	Benzo(a)pyrène	0,58 mg/kg (S20)	Inhalation de vapeurs dans l'air intérieur et extérieur
	HCT	Fraction C12-C16	68 mg/kg (S16)	

**Tableau 5 : Terme source – Concentrations retenues dans les sols**

Les concentrations en métaux dans l'eau souterraine ne sont pas retenues car il n'y aura pas d'utilisation de la nappe sur le site.

### VI.2.2 Voie d'exposition

Compte tenu de l'absence de changement d'usage, la voie d'exposition retenue est l'inhalation de vapeurs dans l'air intérieur (bâtiment industriel) et l'inhalation de vapeurs et de poussières dans l'air extérieur.



L'ingestion de sol et le contact cutané n'ont pas été retenus car les mesures de gestion permettent de supprimer cette voie d'exposition (élimination des spots au droit des espaces verts). L'ingestion d'eau souterraine est exclue du fait des restrictions d'usage proposées.

### VI.2.3 Caractéristiques toxicologiques

La sélection des VTR est basée sur les exigences de la note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués. Toute autre valeur toxicologique publiée dans la littérature ne peut être utilisée.

Pour rappel, toute VTR issue d'une autre base de données que celles mentionnées dans la circulaire ne peut être utilisée pour calculer les risques sanitaires. Il n'existe aucune VTR établie pour le contact cutané.

Le Tableau 6 présente les valeurs toxicologiques de référence retenues pour le calcul des risques sanitaires, conformément à la méthodologie de la note d'information du 31/10/2014.

Polluants	Inhalation			
	Agents à seuil	Agents sans seuil	Valeurs	Source
HCT C12-C16 aliphatique	X		1,00 mg/m <sup>3</sup>	TPHCWG, 1997
HCT C12-C16 aromatique	X		0,2 mg/m <sup>3</sup>	TPHCWG, 1997
Benzo(a)pyrène	X		2,00E-06 mg/m <sup>3</sup>	US EPA 2017
		X	6,0E-01 (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	US EPA 2017

**Tableau 6 : Valeurs Toxicologiques de Référence – Inhalation**

Le Tableau 7 reprend les organes cibles des différentes substances, par voie d'exposition impliquée et pour laquelle une VTR existe.



Substance	Organes cibles principaux – Inhalation
Benzo(a)pyrène	Estomac, foie, reins, moelle osseuse
HCT fraction C12-C16 aromatique	Système nerveux central et sanguin

**Tableau 7 : Effets chez l'homme des substances retenues pour l'étude**

## **VI.3 Calcul du risque**

### **VI.3.1 Modèle de transfert**

#### **VI.3.1.1 Préambule**

Modul'ERS est un outil de modélisation développé par l'INERIS sur la base de son retour d'expérience, en vue d'améliorer les pratiques et la transparence des études d'évaluation des risques sanitaires liés à l'aménagement d'un site pollué ou à l'implantation d'une installation industrielle.

Il sert à la réalisation des évaluations prospectives des risques sanitaires effectuées dans le cadre de l'analyse des effets sur la santé des ICPE et pour la réalisation des analyses de risques résiduels des sites et sols pollués.

Modul'ERS permet de faire le lien entre l'étape de définition du schéma conceptuel et celle de l'évaluation prospective des expositions et des risques, en donnant aux utilisateurs la possibilité de construire un modèle d'exposition adapté au schéma conceptuel défini pour le site étudié, à partir d'une bibliothèque de modules prédéfinis.

Cet outil permet d'estimer :

- ✖ Les concentrations dans les milieux.
- ✖ Les niveaux d'exposition.
- ✖ Les niveaux de risque en fonction du temps.

Il est établi à partir des équations qui permettent de modéliser les concentrations dans les milieux, les doses d'exposition et les niveaux de risques attendus, en s'appliquant à tracer l'origine de ces équations, les hypothèses sur lesquelles elles reposent et leurs limites d'utilisation.

Aciéries et forges d'Anor - Anor / Etude historique, diagnostic de la qualité des sols et des eaux souterraines

Modul'ERS permet de cibler sur les phénomènes de transfert à prendre en compte, avec des mécanismes de transfert issus de différents modèles conceptuels.

Modul'ERS permet aussi de conduire une analyse des incertitudes et une analyse de sensibilité des résultats.

Pour chaque substance étudiée, l'utilisateur peut choisir :

- ✖ De prendre en compte ou non un mécanisme de transfert pour modéliser la concentration attendue dans un milieu.
- ✖ Entre différentes approches de modélisation, pour représenter certains mécanismes de transfert ou estimer des coefficients de transfert entre différentes matrices (approche dynamique ou stationnaire pour le calcul des concentrations dans les matrices animales par exemple).
- ✖ Entre l'utilisation de données mesurées pour les concentrations dans les milieux et les niveaux d'exposition ou le recours à la modélisation.

#### **VI.3.1.2 Hypothèses de travail**

Les hypothèses de travail retenues pour les modélisations Modul'ERS sont reprises dans les Tableau 8 et Tableau 9.

Modèle	Aspect	Elément de paramétrage du modèle		Source
Modul'ERS	Propriétés physico-chimiques des agents	Masse molaire		Base de données INERIS ou logiciel
		Pression de vapeur		
		Constante de Henry		
		Constante de Junge		
		Coefficient de partage		
		Coefficient de diffusion dans l'air		
		Coefficient de diffusion dans l'eau		
		Coefficient octanol-eau		
		Solubilité		
	Données sources	Concentrations au point cible		Données terrain
	Caractéristiques de la zone d'étude	Site et usages	Nature / Caractéristiques du sol	
Coupe géologique du terrain				
Pas d'utilisation de la nappe alluviale (relève d'une servitude)				

Tableau 8 : Eléments de paramétrage du modèle Modul'ERS (1/2)

Modèle	Aspect	Elément de paramétrage du modèle	Source
Modul'ERS	Caractéristiques de la zone d'étude	Volume de la source sol – air intérieur : 12 960 m <sup>3</sup> Volume de la source sol – air extérieur : 4 000 m <sup>3</sup>	Donnée projet
		Bâtiments sans sous-sol et sans vide sanitaire.	Hypothèse réaliste (bâtiment conservé)
		Epaisseur de dalle considérée pour un usage industriel : 0,15 m	Données INERIS
		Porosité de la dalle : 0,02	
		Hauteur du bâtiment : 8 m	Données projet
		Fraction surfacique occupée par les ouvertures dans la dalle : 1E-04	Données INERIS (dalle de qualité normale car coulis de béton)
		Nombre d'ouvertures dans la dalle par unité de surface : 0,2	
		Dépression entre l'intérieur du bâtiment et le sol : 4 kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-2</sup>	Données INERIS
		Surface du bâtiment considérée : 6 480 m <sup>2</sup> Surface au sol considérée : 2 000 m <sup>2</sup>	Donnée projet
		Biodisponibilité des polluants dans le sol : 100%	Hypothèse considérée afin de majorer le risque
		Taux de renouvellement d'air dans la zone où a lieu l'émission : 0,5 vol/h	Données logiciel par défaut et recommandation ICEB
	Exposition des cibles	Durée d'exposition : 30 ans	Donnée INERIS
		Adultes : A partir de 18 ans	Hypothèse considérée / données d'occupation des lieux de vie de l'INERIS
		Air extérieur : Temps passé à l'extérieur du site le site : 3h par jour, 226 jours de travail de travail/an. Air intérieur : Temps passé à l'intérieur sur le site : 8h par jour, 226 jours de travail/ an	

Tableau 9 : Eléments de paramétrage du modèle Modul'ERS (2/2)

### VI.3.2 Incertitudes

Pour la réalisation de cette étude de risques sanitaires, il existe des incertitudes liées aux hypothèses de départ et aux connaissances scientifiques actuelles (Tableau 10).

Types d'incertitudes	Paramètres	Non quantifiable	Sur estimation	Sous-estimation	Commentaires
Incertitudes relatives à la toxicité et VTR retenues	La toxicité pour l'homme des substances identifiées a été évaluée à l'aide des bases épidémiologiques et toxicologiques de référence (OMS, US-EPA/IRIS, ATSDR principalement). Cependant, des incertitudes résident dans ces données toxicologiques et les VTR proposées (facteurs d'incertitude appliqués pour tenir compte des extrapolations intra- et inter-espèces).	✓			Limites des connaissances scientifiques
	VTR déterminées pour les substances agissant seules. Pas de connaissance sur les synergies ou antagonismes entre substances.	✓			
	Pas de prise en compte des éventuels produits de transformation	✓			
	Concentrations retenues correspondant au maximum résiduel sur la zone d'étude.		✓		Calcul des doses d'exposition maximales
Détermination des concentrations dans l'environnement	Les concentrations mesurées sont considérées similaires sur l'ensemble du site		✓		-
	Les concentrations mesurées dans les sols ont été retenues.	✓			Campagne de mesures réalisée en août 2019.
	Qualité du sol : les phénomènes de dégradation, de lixiviation, d'érosion et de perte par ruissellement ne sont pas pris en considération.		✓		-
Exposition (sur 30 ans)	Le modèle d'inhalation considère que la cible change de lieu de vie tous les 30 ans.		✓		Variable selon les personnes, ces paramètres tendent à surestimer l'exposition du fait de l'âge des personnes.
Caractéristiques de la zone projet	Volume de la source sol		✓		-
	Prise en compte de l'absence de sous-sol	✓			Pas de sous-sol.
	Temps d'exposition de la cible à la source sol	✓			Données statistiques INERIS

**Tableau 10 : Hypothèses et incertitudes**

### VI.3.3 Distinctions agents à seuil/sans seuil

La différence entre un agent à seuil et un agent sans seuil est présentée dans le Tableau 11.

Caractéristiques	Agents à seuil	Agents sans seuil
VTR	Valeur en dessous de laquelle on ne distingue pas d'effet	Risque d'apparition d'une pathologie
Indice calculé	Quotient de danger $QD = DJE / VTR$ ou $QD = CI / VTR$ * CI : Concentration inhalée ou DJE : dose journalière d'exposition = dose potentiellement administrée (mg/m <sup>3</sup> ou mg/kg/j) * VTR : Valeur Toxicologique de Référence	Excès de risque individuel $ERI = DJE * ERUi$ ou $ERI = CI * ERUi$ * CI : Concentration inhalée ou DJE : dose journalière d'exposition (mg/m <sup>3</sup> ou mg/kg/j) * ERUi : Excès de risque unitaire par ingestion
Valeurs de référence	* $QD < 1$ : les mesures de gestion retenues permettent un usage du site tel que défini par le plan de gestion, la possibilité de survenue d'un risque étant très faible. * $QD > 1$ : les mesures de gestion ne garantissent un usage du site sans risque ; la survenue d'un risque est probable. Le plan de gestion doit être revu.	* $ERI < 10^{-5}$ : les mesures de gestion retenues permettent un usage du site tel que défini par le plan de gestion, la possibilité de survenue d'un risque étant très faible. * $ERI > 10^{-5}$ : les mesures de gestion ne garantissent un usage du site sans risque ; la survenue d'un risque est probable. Le plan de gestion doit être revu.

**Tableau 11 : Distinction entre agents à seuil et agents sans seuil**

## VI.3.4 Détermination du risque sanitaire par inhalation

### VI.3.4.1 Méthodologie

Les concentrations inhalées utilisées pour calculer les quotients de danger et les excès de risques individuels sont données pour chaque agent sélectionné dans le Tableau 12.

Paramètres	Unité	Cinh particules extérieur	Cinh gaz extérieur	Cinh gaz air intérieur	Concentrations inhalées totales
Benzo(a)pyrène	mg/m <sup>3</sup>	2,35E-08	1,60E-07	8,87E-07	1,03E-06
HCT C12-C16		8,07E-07	4,73E-05	3,21E-02	3,21E-02

**Tableau 12 : Doses administrées – Inhalation**

### VI.3.4.2 Agent à seuil

Les quotients de danger calculés sont donnés dans les Tableau 13.

Paramètres	Ci d'exposition	VTR (mg/m <sup>3</sup> )	QD
Benzo(a)pyrène	1,0E-06	2,00E-06	5,16E-01
HCT C12-C16	3,2E-02	2,00E-01	1,61E-01

Cumul des QD - Estomac	5,16E-01
Cumul des QD - Foie	5,16E-01
Cumul des QD - Reins	5,16E-01
Cumul des QD - Moelle osseuse	5,16E-01
Cumul des QD - Système nerveux central	1,61E-01
Cumul des QD - hématopoïétique	1,61E-01
Cumul des QD - Total	6,76E-01
QD maximal toléré	1

**Tableau 13 : Quotients de danger - Inhalation**

Aucun des paramètres étudiés ou des organes cibles ne présentent un quotient de danger supérieur à 1.



### VI.3.4.3 Agent sans seuil

Les excès de risque individuel calculés sont repris dans les Tableau 14.

Paramètres	Ci d'exposition agent sans seuil	VTR (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	ERI
Benzo(a)pyrène	4,42E-07	6,00E-01	2,65E-07

ERI en tenant compte du cumul des effets	2,65E-07
ERI maximal toléré	1,00E-05

**Tableau 14 : Excès de risque individuel - Inhalation**

NB : la concentration d'exposition pour l'exposition sans seuil est calculée à partir de la concentration totale inhalée, pondérée par le ratio 30/70 (exposition pour une durée moyenne de 30 ans, ramenée à la vie entière).

L'ERI calculé est inférieur à 10<sup>-5</sup>.

## VI.4 Conclusion de l'analyse des risques résiduels

D'après les résultats de l'analyse des risques résiduels, et au vu des usages prévus sur le site, les mesures de gestion sont cohérentes et permettent un risque acceptable pour les populations.

## **VII CONCLUSION**

Les investigations réalisées sur le site des fonderies d'Anor en août 2019 ont mis en évidence des contaminations au droit du site Anorlame.

Un des spots de contamination identifié sera excavé lors des travaux de dépollution réalisés par l'EPF. L'analyse des risques résiduels montre un risque sanitaire acceptable pour un usage industriel sur le site Anorlame.