

Janvier 2022



“Un seul métier,
L’environnement Atmosphérique”

Suez RV Sud-Ouest

Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux de Bellac (87)

Impact des émissions en métaux de la torchère au Vapotherm - Evaluation des Risques Sanitaires

Références : Rapport ARIA/2021.090

Documents associés : -

Type de document : Rapport d'études

Avancement du document : Version 2

Accessibilité : Restreint

ARIA Technologies

8-10 rue de la Ferme – 92100 Boulogne Billancourt

Tél. : +33 (0)1 46 08 68 60 – Fax : +33 (0)1 41 41 93 17 – E-mail : info@aria.fr - <http://www.aria.fr>

S.A.S. au capital de 779 947 € - SIRET 379 180 474 00049 – Code APE 6201Z – RCS Nanterre B 379 180 474

ARIA Technologies	Titre : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux de Bellac (87) – Impact des émissions en métaux de la torchère au Vapotherm - Evaluation des Risques Sanitaires						
N° rapport ARIA	21.090						
N° action ARIA	21.194						
Nombre de pages	80	Nombre de figures	14	Nombre de tableaux	29	Nombre d'annexes	5
Auteur(s)	ARIA Technologies, Aude HERVOUIN, Ingénieure Qualité de l'air						
Sous-traitants	-						
Intérêt documentaire		Accessibilité		Confidentielle		Libre	
Oui		Non		ARIA Technologies		Restreinte	
Etat du document		Rédacteurs Nom/Date			Relecteur Nom/Date		
Version V1		Aude HERVOUIN Le 29/11/2021			Alisson GODART Le 30/11/2021		
Version V2		Aude HERVOUIN Le 07/01/2022			-		
DIFFUSION	Date	DESTINATAIRES				Nombre	
Diffusion informatique	07/01/2022	Suez RV Sud-Ouest				1	
Diffusion papier	-	-				-	

SOMMAIRE

1. CADRE DE L'ETUDE.....	7
2. INVENTAIRE DES EMISSIONS – REJETS DANS L'AIR.....	8
2.1 Composés inventoriés	9
2.2 Flux à l'émission.....	9
3. SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION	10
4. CHOIX DES TRACEURS DE RISQUE.....	12
4.1 Identification des dangers	12
4.2 Etude des relations dose-réponse.....	13
4.2.1 Définitions.....	13
4.2.2 Critères de choix des Valeurs Toxicologiques de Référence	13
4.2.3 Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence	15
4.2.4 Choix des traceurs de risque	18
5. DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR ET DES DEPOTS AU SOL.....	19
5.1 Données d'entrée	19
5.1.1 Domaine d'étude	19
5.1.2 Topographie.....	20
5.1.3 Météorologie	21
5.2 Présentation du logiciel de dispersion et paramétrages.....	26
5.2.1 Présentation générale du logiciel	26
5.2.2 Paramétrages et grandeurs calculées	27
5.3 Réglementation de la qualité de l'air	30
5.3.1 Réglementation relative aux concentrations dans l'air.....	30
5.3.2 Réglementation relative aux dépôts au sol	30
5.4 Concentrations moyennes annuelles	31
5.5 Dépôts au sol	33
6. EVALUATION PROSPECTIVE DES RISQUES SANITAIRES	36
6.1 Evaluation de l'exposition humaine	36
6.1.1 Scénarios d'exposition retenus	36
6.1.2 Exposition par inhalation.....	37
6.1.3 Exposition par ingestion	38
6.2 Caractérisation des risques.....	41
6.2.1 Méthodologie	41
6.2.2 Evaluation des risques sanitaires pour les substances à seuil.....	43
6.2.3 Evaluation des risques sanitaires pour les substances sans seuil	44
6.3 Incertitudes	45
6.3.1 Incertitudes relatives à la modélisation atmosphérique.....	45
6.3.2 Incertitudes relatives à l'évaluation des risques sanitaires.....	47
7. SYNTHESE.....	49
ANNEXES	50
ANNEXE 1 : DESCRIPTION DU MODELE NUMERIQUE ARIA IMPACT	51
ANNEXE 2 : CARTES DE CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES.....	56
ANNEXE 3 : CARTES DE DEPOTS AU SOL MOYENS ANNUELS.....	64

ANNEXE 4 : DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS LES MILIEUX D'EXPOSITION.....72

**ANNEXE 5 : RESULTATS PAR TRANCHE D'AGE DE LA CARACTERISATION DES RISQUES SANITAIRES
POUR L'EXPOSITION PAR VOIE DIGESTIVE79**

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : composés émis à l'atmosphère par la torchère	9
Tableau 2 : caractéristiques des rejets de la cheminée	9
Tableau 3 : émissions canalisées de la torchère	9
Tableau 4 : classifications CIRC et US-EPA pour les effets cancérigènes	12
Tableau 5 : identification des dangers par substance	12
Tableau 6 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques à seuil	16
Tableau 7 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques sans seuil	17
Tableau 8 : classement des traceurs de risque suivant le ratio flux/VTR.....	18
Tableau 9 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent toutes directions confondues	22
Tableau 10 : statistiques relatives à la pluviométrie.....	24
Tableau 11 : statistiques relatives à la température de l'air.....	25
Tableau 12 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des substances étudiées.....	27
Tableau 13 : points d'intérêt retenus.....	29
Tableau 14 : valeur réglementaire française relative à la qualité de l'air	30
Tableau 15 : concentrations moyennes annuelles.....	31
Tableau 16 : dépôts au sol moyens annuels	34
Tableau 17 : récapitulatif du scénario	36
Tableau 18 : concentrations et dépôts retenus	37
Tableau 19 : concentrations moyennes inhalées (CI)	37
Tableau 20 : paramètres relatifs aux différentes catégories d'âge (source INERIS 2017)	39
Tableau 21 : fraction d'aliments auto-produits (source INERIS 2017)	40
Tableau 22 : dose Journalière d'Exposition par ingestion et pour chaque tranche d'âge	40
Tableau 23 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil	43
Tableau 24 : exposition agrégée - quotients de danger calculés par substance.....	43
Tableau 25 : excès de risque individuel pour les traceurs de risque sans seuil	44
Tableau 26 : exposition agrégée - excès de risque individuel calculés par substance.....	44
Tableau 27 : facteurs relatifs aux végétaux.....	75
Tableau 28 : facteurs de bioconcentration sol/plante (Br exprimés par rapport à la plante fraîche) ...	76
Tableau 29 : coefficient de bio-transfert dans les produits animaux (Ba exprimés par rapport à la masse fraîche de produit)	77

FIGURES

Figure 1 : topographie du domaine d'étude (source : IGN)	8
Figure 2 : schéma conceptuel d'exposition autour de l'ISDND de Bellac	11
Figure 3 : logigramme pour le choix des VTR (DGS).....	14
Figure 4 : carte du domaine d'étude	19
Figure 5 : topographie du domaine d'étude (source : IGN)	20
Figure 6 : rose des vents générale – 2018 à 2020 (3 ans)	22
Figure 7 : répartition des cas météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique.....	23
Figure 8 : variation moyenne mensuelle de la pluviométrie (période du 01/01/2018 au 31/12/2020).....	24
Figure 9 : variation moyenne mensuelle de la température (période du 01/01/2018 au 31/12/2020).....	25
Figure 10 : diagramme présentant le logiciel ARIA Impact	26
Figure 11 : localisation des points d'intérêt	29
Figure 12 : carte de concentration en moyenne annuelle en arsenic.....	32
Figure 13 : dépôts au sol moyens annuels en arsenic.....	35
Figure 14 : contamination des végétaux (EPA, 1998)	74

GLOSSAIRE

AFSSA	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
µg	Microgrammes = 10 ⁻⁶ g
CI	Concentration Inhalée
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
DGS	Direction Générale de la Santé
ERI	Excès de Risque Individuel
ERS	Evaluation des Risques Sanitaires
ERU	Excès de Risque Unitaire
INERIS	Institut National de l'Environnement et des RISques
InVS	Institut de Veille Sanitaire
ng	Nanogrammes = 10 ⁻⁹ g
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
QD	Quotient de Danger
RIVM	Rijksinstituut Voor Volksgezondheid (Institut National de Santé Publique et de l'Environnement des Pays-Bas)
US-EPA	United State Environment Protection Agency
VLE	Valeur Limite à l'Emission
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

1. CADRE DE L'ETUDE

Dans le cadre d'une demande de la DREAL, Suez RV Sud-Ouest a chargé ARIA Technologies de réaliser une étude des risques sanitaires liée aux émissions de métaux de la torchère équipée du nouveau Vapotherm sur l'ISDND de Bellac (87).

L'évaluation est menée en application de la circulaire DGPR & DGS du 9 août 2013 et conformément au guide « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013 et sa deuxième édition de septembre 2021. Les étapes suivantes ont été réalisées :

1. Evaluation des émissions des installations : recensement des sources d'émission et quantification des émissions ;
2. Evaluation des enjeux et des voies d'exposition : schéma conceptuel décrivant les relations entre les sources de polluants, les milieux et vecteurs de transfert ;
3. Evaluation prospective des risques sanitaires : estimation des risques attribuables aux émissions en métaux du nouveau Vapotherm pour les populations autour de l'installation.

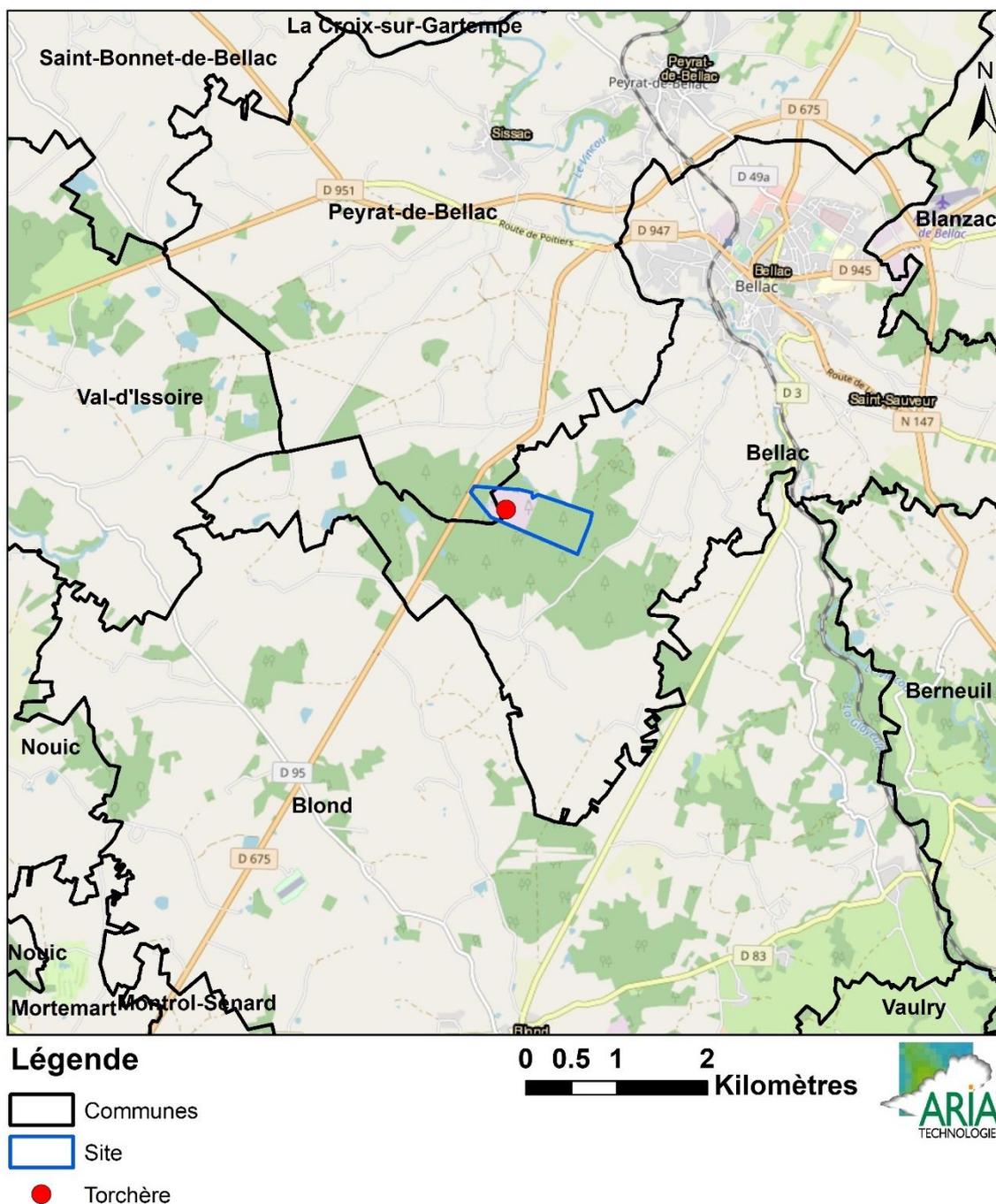
Le présent rapport a été établi sur la base des informations transmises à ARIA Technologies, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives de la réglementation, en vigueur au moment de la réalisation du dossier (version 2).

La responsabilité d'ARIA Technologies ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été fournies sont incomplètes ou erronées.

2. INVENTAIRE DES EMISSIONS – REJETS DANS L’AIR

La Figure 1 présente la localisation du site. Les émissions atmosphériques en métaux proviennent des rejets issus de la torchère avec VapoTherm.

Figure 1 : topographie du domaine d’étude (source : IGN)



2.1 COMPOSES INVENTORIES

Les métaux rejetés au niveau de cette torchère sont listés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : composés émis à l'atmosphère par la torchère

Nom	N°CAS
Antimoine (Sb)	7440-36-0
Arsenic (As)	7440-38-2
Cadmium (Cd)	7440-43-9
Chrome (Cr)	7440-47-3
Cobalt (Co)	7440-48-4
Cuivre (Cu)	7440-50-8
Manganèse (Mn)	7439-96-5
Mercuré (Hg)	7439-97-6
Nickel (Ni)	7440-02-0
Plomb (Pb)	7439-92-1
Thallium (Tl)	7440-28-0
Vanadium (V)	7440-62-2

2.2 FLUX A L'EMISSION

Le Tableau 2 présente les caractéristiques des rejets de la torchère, et le Tableau 3 indique les émissions de cette source. Les données ont été transmises par Suez RV Sud-Ouest.

Tableau 2 : caractéristiques des rejets de la cheminée

Caractéristiques	Unité	Cheminée
Type de source	-	Canalisée
Coordonnée UTM31 X	km	346.597
Coordonnée UTM31 Y	km	5 106.852
Hauteur par rapport au sol	m	6
Diamètre de la cheminée	m	1.12
Température des rejets	°C	660
Débit	m ³ /h	1 034
Vitesse d'éjection	m/s	1.15

Tableau 3 : émissions canalisées de la torchère

Substances	Unité	Emissions
Hg	g/h	2.4E-03
Sb	g/h	2.3E-03
As	g/h	3.1E-03
Cd	g/h	2.5E-03
Cr	g/h	1.6E-02
Co	g/h	4.4E-04
Cu	g/h	1.6E-02
Mn	g/h	6.5E-02
Ni	g/h	3.3E-02
Pb	g/h	3.1E-02
Tl	g/h	2.4E-05
V	g/h	1.1E-03

3. SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION

L'exposition des personnes vivant au voisinage d'une installation émettrice d'effluents dans l'atmosphère peut se produire :

- soit directement par inhalation pour toutes les substances émises à l'atmosphère ;
- soit de façon indirecte par ingestion par le biais de retombées de particules responsables de la contamination de la chaîne alimentaire ;
- soit par contact cutané.

Les personnes habitant ou travaillant à proximité du site inhalent l'air ambiant. Elles sont donc susceptibles d'être exposées de manière directe par inhalation aux effets des rejets atmosphériques du site. **La voie d'exposition par inhalation est donc conservée.**

L'exposition par ingestion peut être :

- soit directe par le biais d'ingestion de poussières (mains, objets ou aliments souillés par de la terre et portés à la bouche). Des études expérimentales ont en effet permis d'estimer la part de poussières et de sols ingérés par les personnes exposées pour différentes tranches de la vie. Il est montré que les enfants, de par leurs jeux et comportements, ingèrent de plus grandes quantités de terre que les adultes ;
- soit indirecte par le transfert de contaminants au travers de la chaîne alimentaire. Cette voie concerne les composés susceptibles de se redéposer et qui ont de plus un caractère bio-cumulatif, c'est-à-dire qui ont la possibilité de s'accumuler sans être dégradés dans les végétaux et animaux.

Compte tenu de la présence de prairies à proximité du site, l'élevage est possible dans la zone d'étude. De plus, de nombreuses cultures sont recensées tout autour du site. C'est pourquoi **la voie par ingestion sera conservée pour les substances pouvant s'accumuler dans la chaîne alimentaire**, à savoir les métaux. Ainsi :

- l'existence de jardins potagers privés ne peut être exclue autour du site :
 - ⇒ l'exposition par ingestion de fruits et légumes est possible et sera donc prise en compte dans cette étude.
- quelques élevages (professionnels) sont susceptibles de se trouver sur la zone d'étude¹. De plus, l'élevage de volailles en plein air par des particuliers ne peut être écarté :
 - ⇒ l'exposition par ingestion de la viande et du lait de bovins potentiellement élevés dans la zone d'étude est conservée ;
 - ⇒ l'exposition par ingestion de viande de volailles et d'œufs est possible et sera donc prise en compte dans cette étude.

En ce qui concerne la voie cutanée, elle ne sera pas conservée. Elle peut être en effet considérée comme négligeable par rapport à l'inhalation et l'ingestion. De plus, il n'existe pas de valeur toxicologique de référence (VTR) pour cette voie d'exposition².

¹ Concernant la contamination des produits d'origine animale, il existe des facteurs de biotransfert uniquement pour la viande et le lait de bovins, la viande de porc, la viande de volaille et les œufs. En revanche, pour les métaux, il n'existe pas de facteurs de biotransfert pour la viande de porc. Celle-ci n'est donc pas retenue dans cette étude.

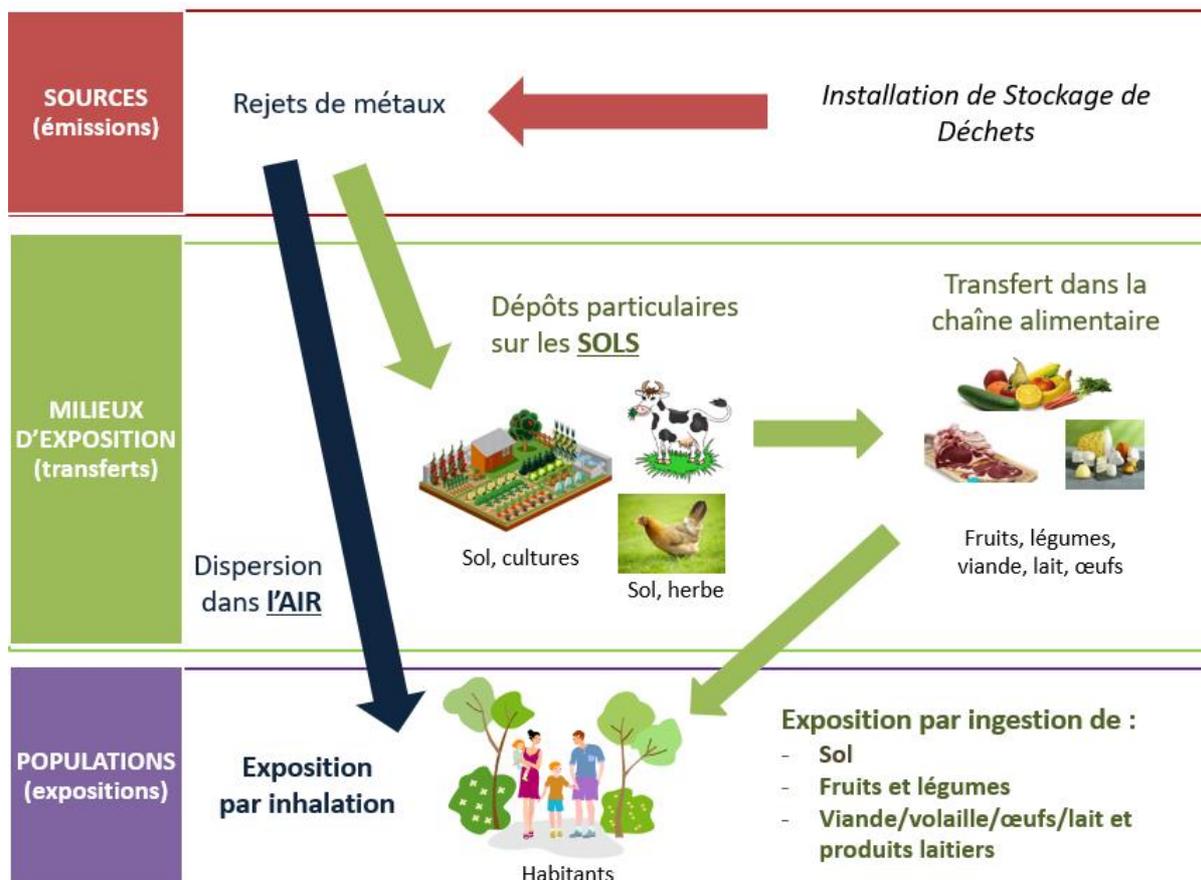
² La note d'information de la DGS du 31 octobre 2014 précise en effet qu'« en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, ils [les pétitionnaires] ne doivent envisager aucune

Compte tenu des substances rejetées, des usages et des populations avoisinantes (reprise des éléments du dossier 2015³), les voies d'exposition retenues sont donc :

- l'inhalation,
- l'ingestion :
 - de sol,
 - de viande, volailles, œufs, lait, produits laitiers,
 - de fruits et légumes.

Le Schéma Conceptuel d'Exposition autour du site est présenté sur la Figure 2.

Figure 2 : schéma conceptuel d'exposition autour de l'ISDND de Bellac



transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ».

³ Rapport 14SBO019, « Reprise de l'étude santé – ISDND Alvéol – Communes de Bellac et de Peyrat-Bellac », SAFEGE, Mars 2015 – V3

4. CHOIX DES TRACEURS DE RISQUE

4.1 IDENTIFICATION DES DANGERS

L'étape d'identification des dangers présente la toxicité des composés émis par la torchère. Il est rapporté les effets sur la santé et en particulier le risque cancérigène et les différentes voies d'exposition.

Les substances chimiques sont susceptibles de provoquer des effets aigus liés à des expositions courtes à des doses généralement élevées, et des effets subchroniques et chroniques susceptibles d'apparaître suite à une exposition prolongée à des doses plus faibles. **Dans le cadre de la présente évaluation des risques sanitaires, seule l'exposition chronique sera étudiée.**

A partir de données trouvées dans la littérature, le Tableau 5 présente, pour l'ensemble des composés inventoriés, les voies d'exposition principales, les dangers possibles, ainsi que la classification du caractère cancérigène pour l'OMS/CIRC et l'US-EPA. Le Tableau 4 rappelle la définition des différentes classifications.

Tableau 4 : classifications CIRC et US-EPA pour les effets cancérigènes

CIRC - OMS	US EPA
1 : cancérigènes pour l'homme	A : cancérigènes pour l'homme (preuves suffisantes chez l'homme)
2A : cancérigènes probables pour l'homme (preuves limitées chez l'homme, suffisantes chez l'animal)	B1 : cancérigènes probable pour l'homme (preuves limitées chez l'homme)
	B2 : cancérigènes probable pour l'homme (preuves non adéquates chez l'homme, suffisantes chez l'animal)
2B : cancérigènes possibles pour l'homme (preuves insuffisantes chez l'homme, suffisantes ou limitées chez l'animal)	C : cancérigènes possibles pour l'homme (preuves non adéquates chez l'homme et limitées chez l'animal)
3 : non classable pour sa cancérigénicité pour l'homme	D : non classable pour sa cancérigénicité pour l'homme (preuves insuffisantes chez l'homme et chez l'animal)
4 : absence connue d'effets cancérigènes chez l'homme et chez l'animal	E : absence connue d'effets cancérigènes chez l'homme et chez l'animal

Tableau 5 : identification des dangers par substance

Nom	N°CAS	Effets/Organes cibles	Voies d'exposition principales	Cancérigénicité	
				CIRC	EPA
Antimoine	7440-36-0	Poumons	Inhalation, Ingestion	-	-
Arsenic	7440-38-2	Développement, système nerveux, peau ; Poumon	Inhalation, Ingestion	1	A
Cadmium	7440-43-9	Système respiratoire ; Reins ; Os	Inhalation, Ingestion	1	B1
Chrome	7440-47-3	Reins	Inhalation, Ingestion	1	A
Cobalt	7440-48-4	Système respiratoire	Inhalation, Ingestion	2B	-
Cuivre	7440-50-8	Intestin	Inhalation, Ingestion	-	D
Manganèse	7439-96-5	Système nerveux	Inhalation, Ingestion	3	D
Mercur	7439-97-6	Systèmes nerveux ; Système rénal	Inhalation, Ingestion	3	D
Nickel	7440-02-0	Système respiratoire ; Développement	Inhalation, Ingestion	2B	A
Plomb	7439-92-1	Système hématologique, système nerveux ; Reins	Inhalation, Ingestion	2A	B2
Thallium	7440-28-0	-	Inhalation, Ingestion	-	-
Vanadium	7440-62-2	Système respiratoire	Inhalation, Ingestion	-	-

4.2 ETUDE DES RELATIONS DOSE-REPONSE

4.2.1 Définitions

La définition des relations dose-réponse consiste à recueillir dans la littérature l'ensemble des valeurs établissant une relation entre une dose d'exposition et les effets (ou probabilités d'effets) observés.

Ces relations dose-réponse regroupées sous le terme de **valeur toxicologique de référence (VTR)** permettent de caractériser deux mécanismes d'action des toxiques :

- **les toxiques à effets à seuil** pour lesquels il existe des valeurs toxicologiques de référence en dessous desquelles l'exposition est réputée sans risque et dont la gravité des effets est proportionnelle à la dose.
- **les toxiques à effets sans seuil** tels que les cancérigènes génotoxiques pour lesquels il n'est pas possible de définir un niveau d'exposition sans risque pour la population. Pour ces produits, des excès unitaires de risque (ERU) ont été définis. Ils correspondent à la probabilité supplémentaire de survenue de cancer dans une population exposée à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (durant toute sa vie⁴ et 24h/24) par rapport à la probabilité de cancer dans une population non exposée. Un ERU à 10^{-5} signifie qu'une personne exposée durant toute sa vie à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aurait une probabilité supplémentaire par rapport au risque de base de 0,00001 de contracter un cancer ou bien, en d'autres termes, que si 100 000 personnes sont exposées, 1 cas de cancer supplémentaire est susceptible d'apparaître. Il n'existe pas de valeur seuil sans risque pour les composés à effets sans seuil.

4.2.2 Critères de choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Pour chaque substance sélectionnée précédemment, des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ont été recherchées auprès des différentes instances internationales suivantes :

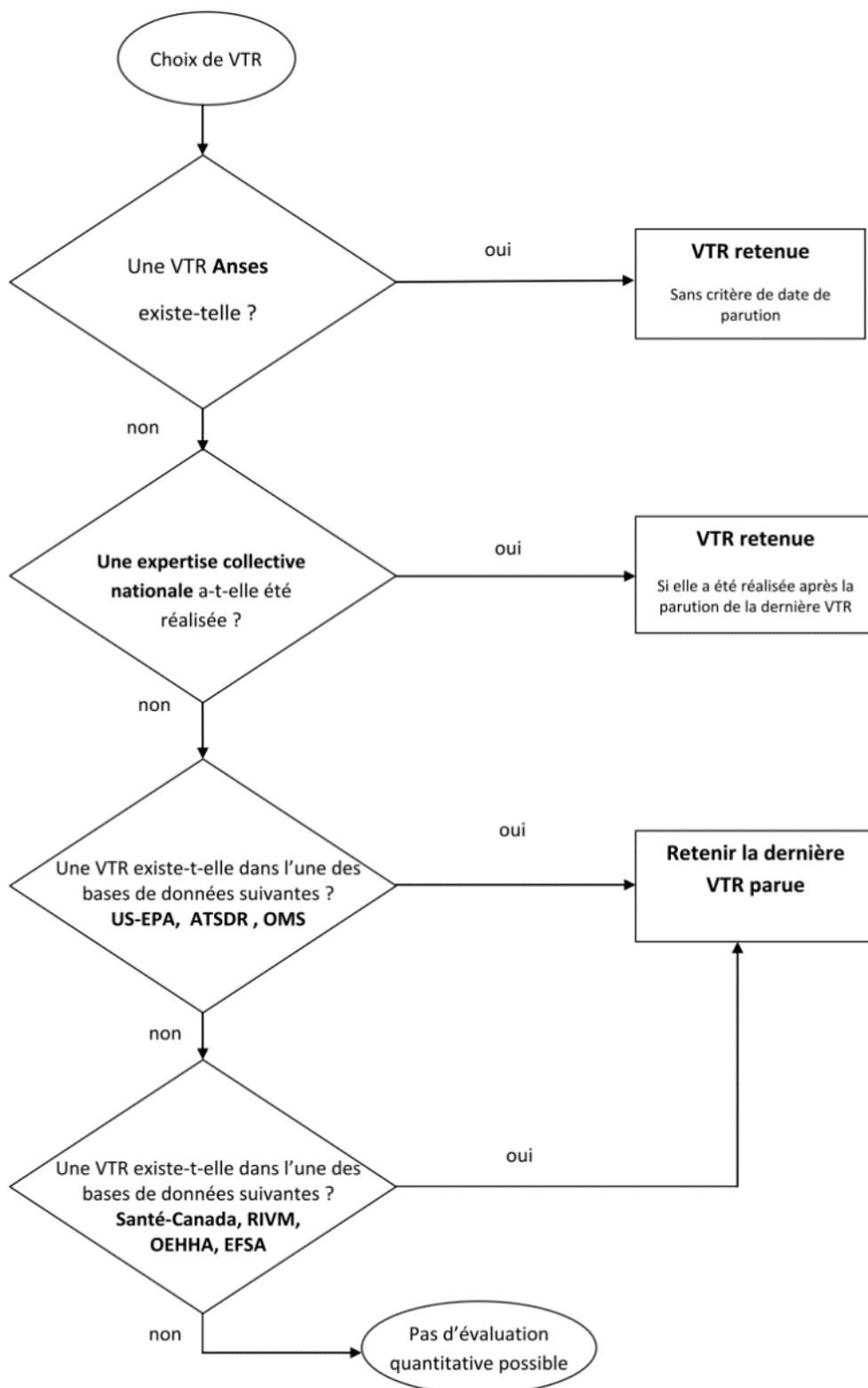
- Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)
- Environmental Protection Agency (US-EPA)
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS/IPCS)
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR)
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA)
- Santé Canada (Health Canada)
- National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)
- European Food Safety Authority (EFSA)

Dans l'objectif de simplifier les modalités de **sélection des VTR** et par la même la vérification des dossiers par les services de l'Etat, la **Direction Générale de la Santé** français a demandé, par une note d'information (DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014), de sélectionner la VTR en suivant le logigramme de la Figure 3 lorsqu'il existe plusieurs VTR pour une voie et une durée d'exposition.

Nous appliquerons ces modalités dans le choix des VTR dans le présent rapport.

⁴ conventionnellement prise égale à 70 ans

Figure 3 : logigramme pour le choix des VTR (DGS)



4.2.3 Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

A partir des VTR disponibles dans la littérature consultée, les Tableau 6 et Tableau 7 résument les VTR retenues pour cette étude.

La littérature ne fournit pas de VTR ni de valeur guide en exposition chronique pour le thallium. Cette substance ne sera donc pas retenue dans le cadre de l'ERS.

Chrome : Le chrome total est composé du chrome +VI et du chrome +III.

- pour l'exposition par inhalation : pour le calcul des risques par inhalation, le chrome total a été assimilé à du chrome VI, sa forme la plus toxique.
- pour l'exposition par ingestion : dans les sols, le chrome se trouve essentiellement sous la forme +III et peu sous la forme +VI (INERIS, 2005). C'est pourquoi le chrome total a été assimilé à du chrome III pour le calcul des risques par ingestion.

Tableau 6 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques à seuil

Substance	Voie d'exposition	Organe /Système cible	Effet(s) observé(s)	VTR	Référence	Année de révision	Justification du choix
Arsenic (As)	Inhalation	Développement, système nerveux, peau	Diminution des fonctions intellectuelles	0.015 µg/m ³	OEHHA	2008	Choix INERIS 2010
	Ingestion	Peau	Lésions cutanées	0.00045 mg/kg/j	Fobig	2009	Choix INERIS 2010
Antimoine (Sb)	Inhalation	Poumons	Inflammation	0.0003 mg/m ³	ATSDR	2019	Seule VTR disponible
	Ingestion	-	-	6 µg/kg/j	OMS	2003	VTR retenue par l'ANSES
Cadmium (Cd)	Inhalation (Effets non cancérogènes)	Reins	Augmentation de 5% atteinte tubulaire dans la population générale	0.45 µg/m ³	ANSES	2012	VTR ANSES prioritaire
	Inhalation (Effets cancérogènes)	Système respiratoire	Incidence combinée des tumeurs pulmonaires	0.3 µg/m ³	ANSES	2012	VTR ANSES prioritaire
	Ingestion	Système squelettique	Risque d'ostéoporose ou de fractures osseuses	0.00035 mg/kg/j	ANSES	2019	VTR ANSES prioritaire
Chrome (Cr)	Inhalation (Cr VI)	Système respiratoire	Modification de la lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire	0.03 µg/m ³	OMS CICAD	2013	Choix INERIS 2017
	Ingestion (Cr III)	-	Pas d'effets observés	0.3 mg/kg/j	EFSA	2014	VTR retenue par l'ANSES
Cobalt (Co)	Inhalation	Système respiratoire	-	0.0001 mg/m ³	OMS	2006	Seule VTR disponible
	Ingestion	-	-	1.5 µg/kg/j	AFSSA	2010	VTR retenue par l'ANSES
Manganèse (Mn)	Inhalation	Système nerveux	Coordination œil-main anormale	0.3 µg/m ³	ATSDR	2012	VTR retenue par l'ANSES (2015)
	Ingestion	Système nerveux	Effets neuro-développementaux chez le nourrisson	0.055 mg/kg/j	INSPO	2017	VTR retenue par l'ANSES (2019)
Nickel (Ni)	Inhalation	Appareil respiratoire	Atteinte des épithéliums	0.23 µg/m ³	TCEQ	2011	VTR retenue ANSES
	Ingestion	Développement	Perte de poids	0.0028 mg/kg/j	EFSA	2015	Choix ANSES et INERIS (2018)
Plomb (Pb)	Inhalation	Système hématologique, système nerveux	Anémies ; Encéphalopathie, neuropathies, troubles mentaux	0.9 µg/m ³	ANSES	2013	Valeur ANSES prioritaire
	Ingestion	Systèmes nerveux et rénal	Encéphalopathie, neuropathies, troubles mentaux ; néphropathie, fibrose, insuffisance rénale	0.00063 mg/kg/j	ANSES	2013	Choix ANSES 2013
Mercure (Hg)	Inhalation	Systèmes nerveux	Effets neurologiques : troubles de la mémoire, un manque d'autonomie ainsi que des tremblements de la main	0.03 µg/m ³	OEHHA	2008	Choix INERIS 2014
	Ingestion (Hg inorganique)	Système rénal	-	0.00057 mg/kg/j	EFSA	2012	Choix ANSES 2016

Substance	Voie d'exposition	Organe /Système cible	Effet(s) observé(s)	VTR	Référence	Année de révision	Justification du choix
	Ingestion (Hg organique)	Système nerveux	-	0.00019 mg/kg/j	EFSA	2012	Choix ANSES
Cuivre (Cu)	Inhalation	-	-	1 µg/m ³	RIVM	2001	Choix INERIS 2019
	Ingestion	Foie	-	0.15 mg/kg/j	EFSA	2018	Choix INERIS 2019
Vanadium (V)	Inhalation	Système respiratoire	-	0.1 µg/m ³	ATSDR	2012	-
	Ingestion	-	-	2.10 ⁻³ mg/kg/j	RIVM	2009	Seule VTR disponible

Tableau 7 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques sans seuil

Substance	Voie d'exposition	Organe /Système cible	Effet(s) observé(s)	VTR	Référence	Année de révision	Justification du choix
Nickel (Ni)	Inhalation	Poumons	Cancer	0.00017 (µg/m ³) ⁻¹	TCEQ	2011	Valeur retenue par l'ANSES
Chrome (Cr)	Inhalation (Cr VI)	Poumons	Augmentation du risque de cancer pulmonaire	0.04 (µg/m ³) ⁻¹	OMS-IPCS	2013	Choix ANSES 2015
Cobalt (Co)	Inhalation	-	-	0.0077 (µg/m ³) ⁻¹	OEHHA	2020	Seule VTR disponible
Plomb (Pb)	Inhalation	Poumons	Cancer	0.000012 (µg/m ³) ⁻¹	OEHHA	2011	Choix INERIS 2013
	Ingestion	Reins	Cancer	0.0085 (mg/kg/j) ⁻¹	OEHHA	2011	Choix INERIS 2013
Arsenic (As)	Inhalation	Poumons	Cancer	0.00015 (µg/m ³) ⁻¹	TCEQ	2012	Choix ANSES
	Ingestion	Peau	Cancer	1.5 (mg/kg/j) ⁻¹	EPA	2009	Choix INERIS (2010)

4.2.4 Choix des traceurs de risque

Conformément à la démarche décrite dans le guide INERIS 2021 et aux pratiques courantes, les traceurs de risque sont choisis en fonction des émissions, des toxicités des substances émises, des concentrations dans l'environnement, des classements des ratios des émissions divisées par les VTR pour les effets à seuil.

Les critères de choix suivants sont définis :

- toutes les substances classées cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques sont retenues ;
- application de la méthode des scores (démarche classiquement utilisée notamment par l'INERIS) aux émissions du site. Le ratio « flux à l'émission divisé par la VTR » est calculé :
 - toutes les substances pour lesquelles le ratio est supérieur à 10% du ratio le plus élevé sont retenues ;
 - les substances pour lesquelles les ratios sont inférieurs à 1% du ratio le plus élevé sont écartées ;
 - les substances pour lesquelles le ratio est compris entre 1 et 10% sont retenues au cas par cas.

Le classement des traceurs de risque suivant le ratio flux/VTR est présenté dans le Tableau 8 ainsi que le choix (retenu/non retenu) effectué. Pour chaque voie (ingestion ou inhalation) apparaisse :

- sur fond rouge : les scores supérieurs à 10% du score maximal ;
- sur fond vert : les scores inférieurs à 1% du score maximal.

Les substances retenues comme traceurs de risques sont les suivantes :

- **Arsenic,**
- **Cadmium,**
- **Chrome,**
- **Manganèse,**
- **Nickel,**
- **Plomb,**
- **Mercuré,**
- **Cobalt.**

Tableau 8 : classement des traceurs de risque suivant le ratio flux/VTR

Substances	Substance cancérigène	Emissions en t/an	VTR à seuil		Score Emissions/VTR à seuil		Retenu	
			Inhalation	Ingestion	Inhalation	Ingestion		
Arsenic	OUI	2.7E-05	1.5E-02	4.5E-01	1.8E-03	6.0E-05	Oui ⇒	cancérigène
Cadmium	OUI	2.2E-05	4.5E-01	3.5E-01	4.9E-05	6.3E-05	Oui ⇒	cancérigène
Chrome III	NON	1.4E-04	-	3.0E+02	-	4.7E-07	Oui ⇒	cancérigène
Chrome VI	OUI	1.4E-04	3.0E-02	-	4.7E-03	-		
Antimoine	NON	2.0E-05	3.0E-01	6.0E+00	6.7E-05	3.4E-06	Non ⇒	score < 5% du score max par inhalation et < 1% du score max par ingestion
Manganèse	NON	5.7E-04	3.0E-01	5.5E+01	1.9E-03	1.0E-05	Oui ⇒	score > 10% du score max par inhalation
Nickel	OUI	2.9E-04	2.3E-01	2.8E+00	1.2E-03	1.0E-04	Oui ⇒	cancérigène
Plomb	OUI	2.7E-04	9.0E-01	6.3E-01	3.0E-04	4.3E-04	Oui ⇒	cancérigène
Mercuré	NON	2.1E-05	3.0E-02	5.7E-01	7.0E-04	3.7E-05	Oui ⇒	score > 10% du score max par inhalation et > 5% du score max par ingestion
Cobalt	OUI	3.9E-06	1.0E-01	1.5E+00	3.9E-05	2.6E-06	Oui ⇒	cancérigène
Cuivre	NON	1.4E-04	1.0E+00	1.5E+02	1.4E-04	9.3E-07	Non ⇒	score < 5% du score max par inhalation et < 1% du score max par ingestion
Vanadium	NON	1.0E-05	1.0E-01	2.0E+00	1.0E-04	5.0E-06	Non ⇒	scores < 5% du score max par inhalation et ingestion
Thallium	NON	2.1E-07	-	-	-	-	Non ⇒	Pas de VTR disponible

score < 1% du score max	1% < score < 10% du score max	score > 10% du score max	Pas de VTR disponible pour cette voie
-------------------------	-------------------------------	--------------------------	---------------------------------------

5. DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR ET DES DEPOTS AU SOL

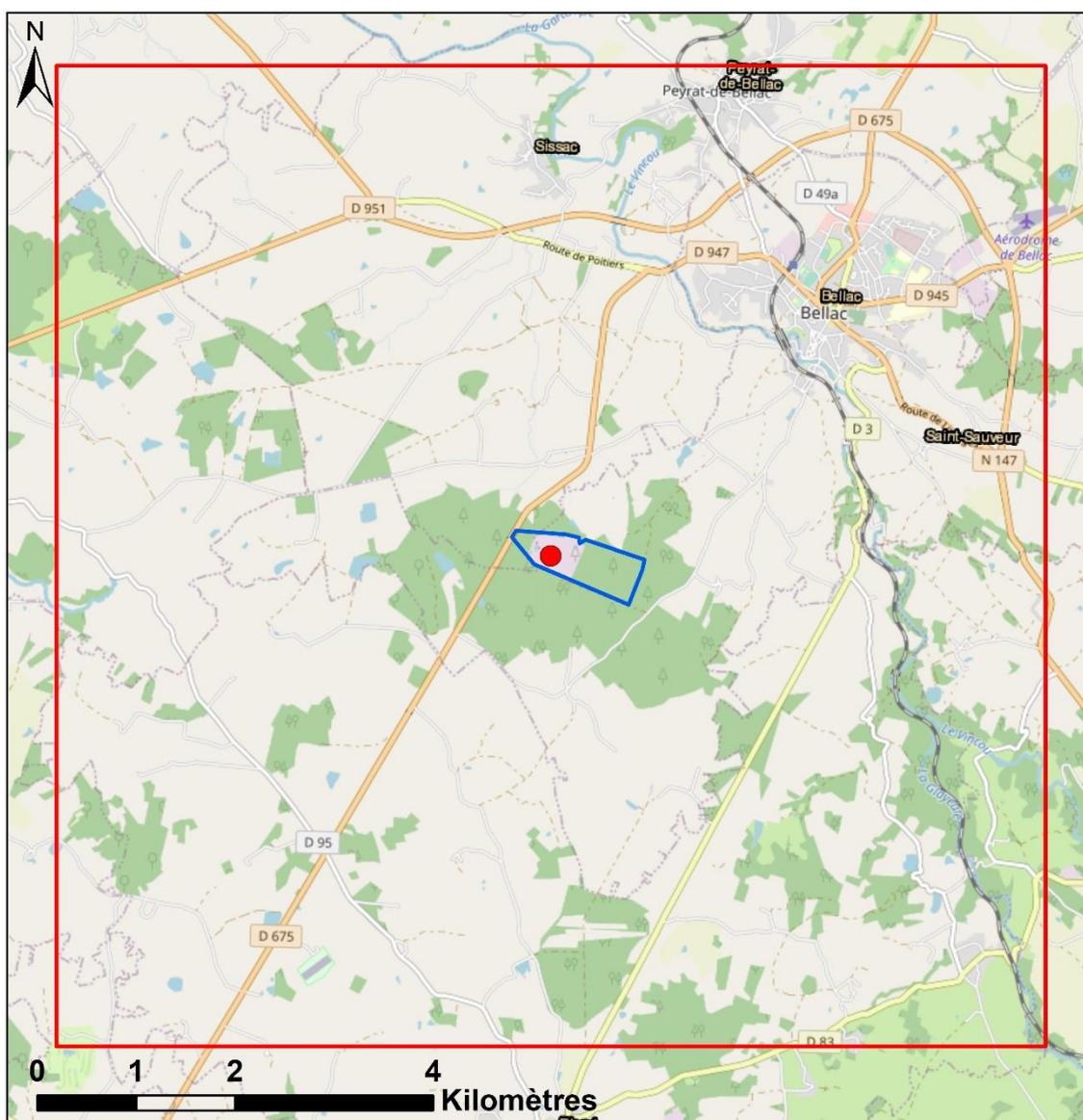
Afin d'estimer les concentrations dans l'environnement attribuables à la torchère équipée du VapoTherm, une étude de dispersion a été réalisée pour les traceurs de risque retenus pour le milieu Air (cf. paragraphe 4).

5.1 DONNEES D'ENTREE

5.1.1 Domaine d'étude

Le domaine d'étude retenu correspond à un carré de 10 km de côté centré sur la torchère.

Figure 4 : carte du domaine d'étude



Légende

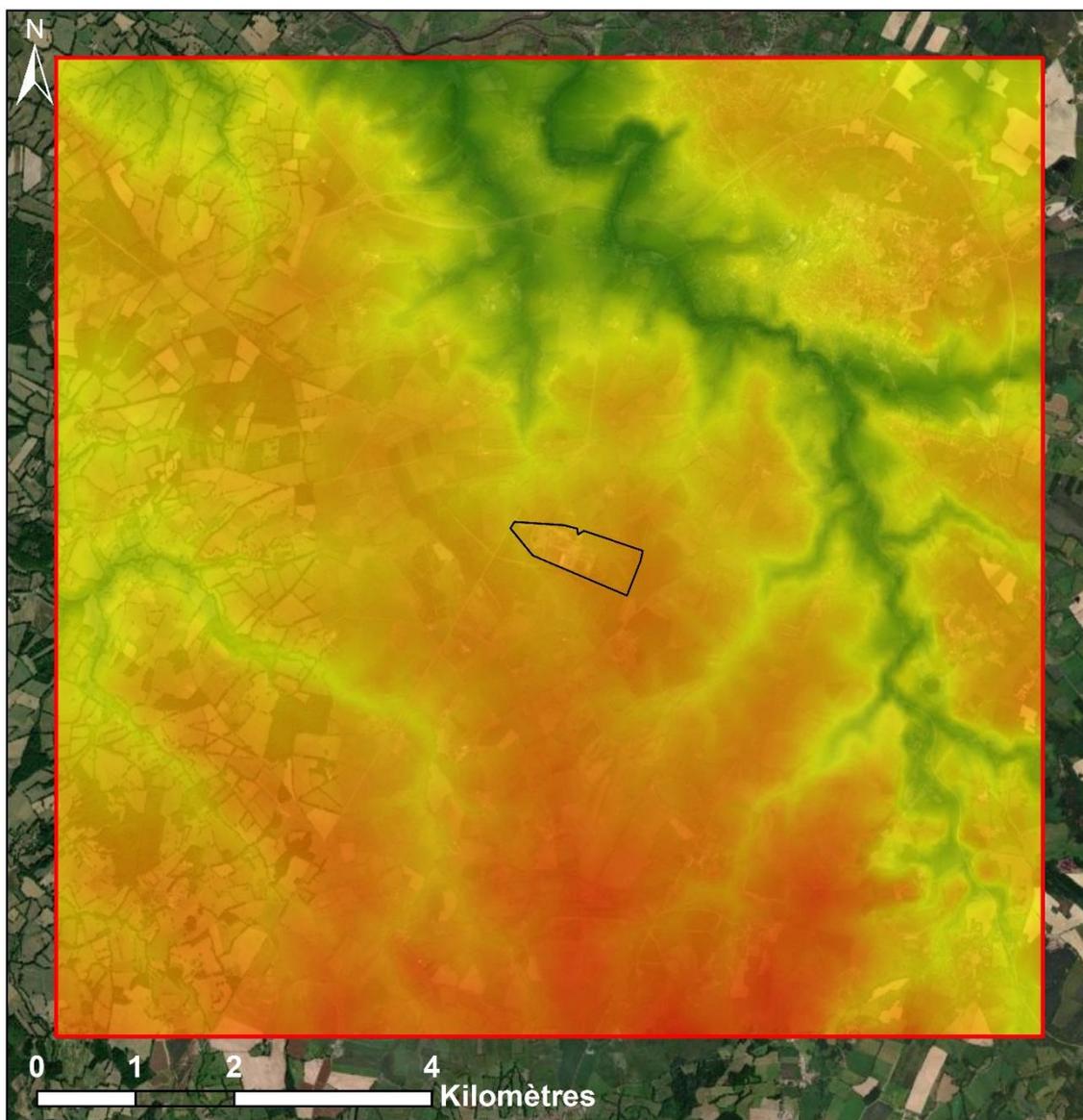
- Domaine d'étude
- Site
- Torchère



5.1.2 Topographie

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 75 mètres. La Figure 5 présente une vue 2D de la topographie sur le domaine d'étude. Le relief est compris entre 163 et 310 mètres NGF.

Figure 5 : topographie du domaine d'étude (source : IGN)



Légende

-  Domaine d'étude
-  Site
- Topographie (m)**
 -  Elevée : 310.448
 -  Faible : 162.997



5.1.3 Météorologie

Les paramètres les plus importants pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont : la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure, la pluviométrie et la stabilité de l'atmosphère.

Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols et de la topographie). C'est pourquoi il est nécessaire de rechercher des chroniques météorologiques :

- suffisamment longues et complètes,
- représentatives de la climatologie du site.

5.1.3.1 Données météorologiques

Plusieurs paramètres rentrent en ligne de compte pour le choix de la station météorologique la plus représentative de la zone d'étude :

- 1. sa position géographique** : la station retenue doit être la plus proche possible de l'installation et il ne doit pas exister d'obstacle majeur entre la station et la zone d'étude.
- 2. la cadence d'acquisition des données météorologiques** : Météo-France possède des stations où les relevés sont faits toutes les heures et d'autres tous les jours. Pour notre étude, nous avons besoin de données météorologiques suffisamment fines au niveau horaire pour avoir une bonne représentativité de la météorologie locale et pour prendre en compte les phénomènes météorologiques diurnes. Il est habituel d'utiliser des bases de données météorologiques comportant des données concernant le vent, la température et la nébulosité toutes les 3 heures pendant plusieurs années. Les stations « journalières » sont donc éliminées.
- 3. la pertinence des données météorologiques.**

Selon les critères ci-dessus, les données météorologiques retenues pour la simulation de dispersion proviennent de la station météorologique de Limoges, située à 30 km au sud-est du site, pour les données de vent (vitesse et direction), de température, de nébulosité et de pluie.

Les données météorologiques utilisées sont des données trihoraires (1 mesure toutes les 3 heures). Ces fichiers comportent trois années de données : du 01/01/2018 au 31/12/2020.

5.1.3.2 Analyse météorologique

5.1.3.2.1 Roses des vents

La rose des vents, en un lieu donné, est la représentation graphique des fréquences des vents classées par direction et vitesse. Les intersections de la courbe avec les cercles d'une fréquence donnée fournissent les fréquences d'apparition des vents en fonction de la direction d'où vient le vent.

La Figure 6 présente la rose des vents générale calculée à partir des données trihoraires sur la période 01/01/2018 au 31/12/2020. Le Tableau 9 synthétise les fréquences d'occurrence par classe de vitesse, toutes directions confondues.

Figure 6 : rose des vents générale – 2018 à 2020 (3 ans)

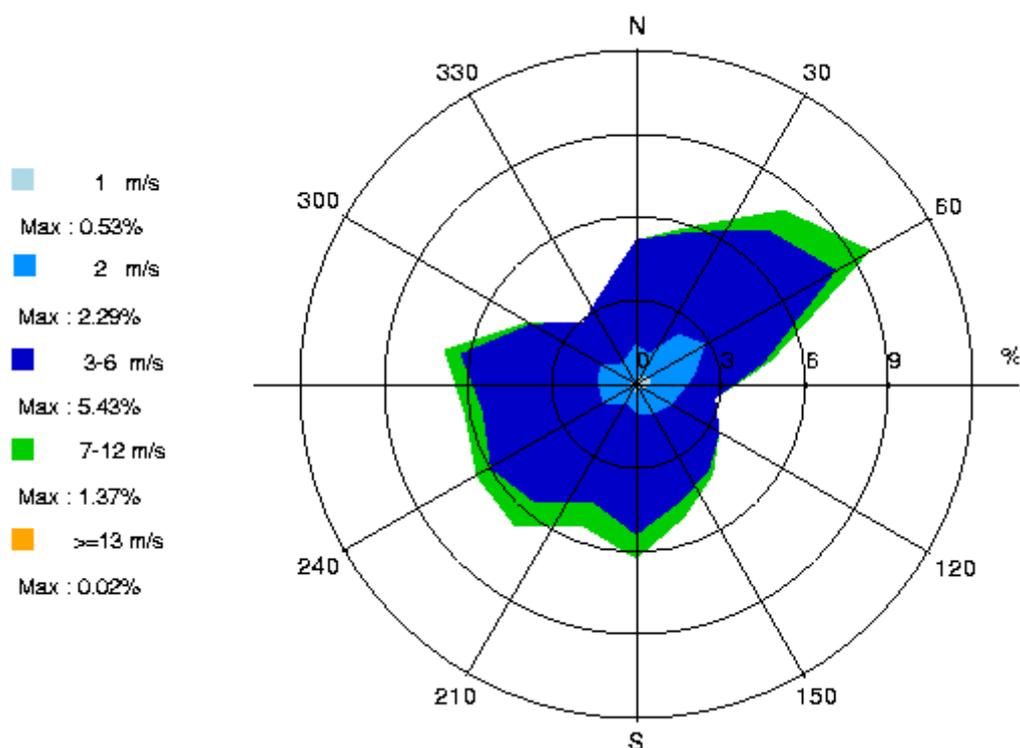


Tableau 9 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent toutes directions confondues

Classe de vitesse (m/s)	calmes	1	2	3-6	7-12	>=13
Borne de l'intervalle	[0 ; 0,9[[0,9 ; 1,5[[1,5 ; 2,5[[2,5 ; 6,5[[6,5 ; 12,5[[12,5 ; ∞[
Fréquence (%)	1.7%	4.4%	21.2%	64.4%	8.3%	0.0%

Sur la période retenue pour cette étude (du 01/01/2018 au 31/12/2020), les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

- la rose des vents montre deux directions principales :
 - vents du nord-est (31 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 0° et 90°) ;
 - vents du sud-ouest (48 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 150° et 300°).
- sur l'ensemble des directions, les vents ont une vitesse moyenne de 3,6 m/s (13,0 km/h) ;
- les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 3 m/s et 6 m/s soit respectivement 10,8 km/h et 21,6 km/h ;
- les vents faibles (de vitesse inférieure à 1,5 m/s) sont peu fréquents et représentent 6,1 % des estimations dont 1,7 % de vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s soit 3,2 km/h) qui sont les plus pénalisants pour la dispersion des polluants ;
- les vents forts (de vitesse supérieure à 6,5 m/s soit 23,4 km/h) sont peu fréquents et représentent 8,3 % des observations.

⁵ Les directions du vent sont données en degrés par rapport au Nord et indiquent la direction d'où vient le vent (convention météorologique internationale). Un vent de 0° est donc un vent venant du Nord, un vent de 180° est un vent venant du Sud.

5.1.3.2.2 Stabilité atmosphérique

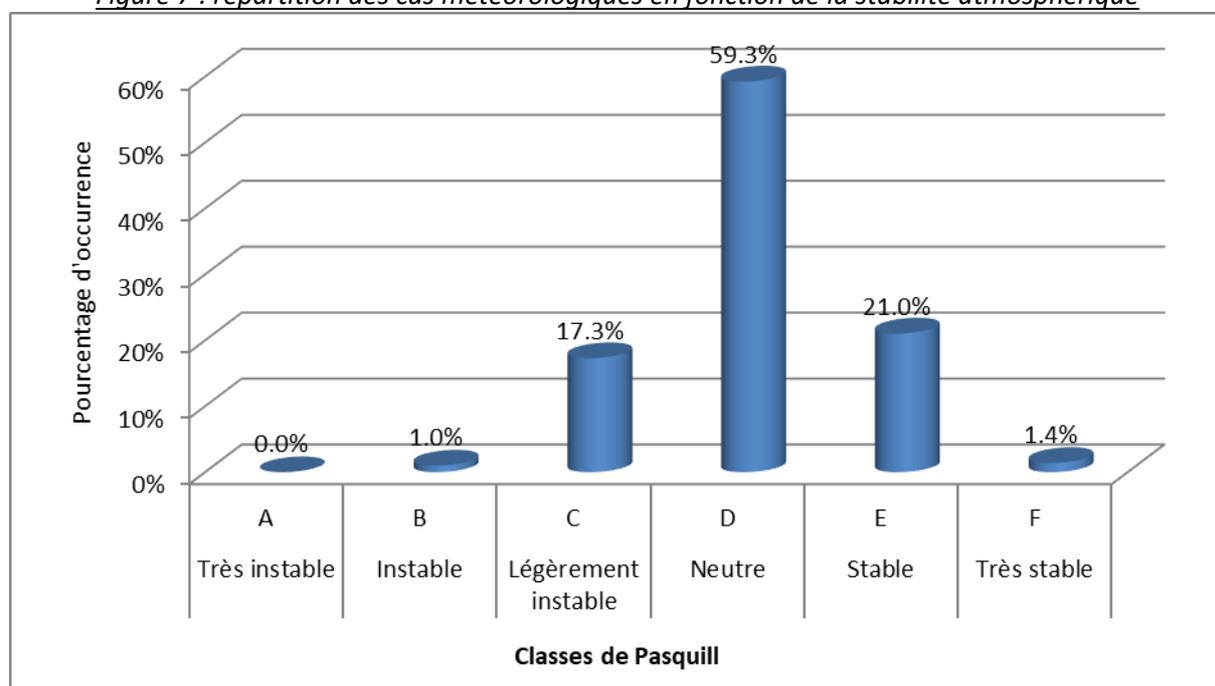
La stabilité de l'atmosphère est destinée à quantifier les propriétés diffuses de l'air dans les basses couches. Elle est souvent associée à la structure thermique de l'atmosphère : par exemple, les situations d'inversion thermique se produisent lorsque l'atmosphère est stable.

Elle est déterminée à partir du vent et de la nébulosité qui conduit à distinguer six catégories de stabilité de l'atmosphère :

- Classe A : Très instable
- Classe B : Instable
- Classe C : Légèrement instable
- Classe D : Neutre
- Classe E : Stable
- Classe F : Très stable

La Figure 7 présente la répartition des cas météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique.

Figure 7 : répartition des cas météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique



La classe D de Pasquill est la plus fréquemment observée (59,3 %), ce qui est très favorable pour la dispersion atmosphérique.

Les vents ont une vitesse moyenne d'environ 1,8 m/s en situation très stable - donc pénalisante pour la dispersion des émissions, tandis qu'en atmosphère neutre, elle est de 4,1 m/s⁶.

⁶ Les vitesses moyennes des vents pour chaque classe de Pasquill sont calculées par le logiciel ARIA Impact.

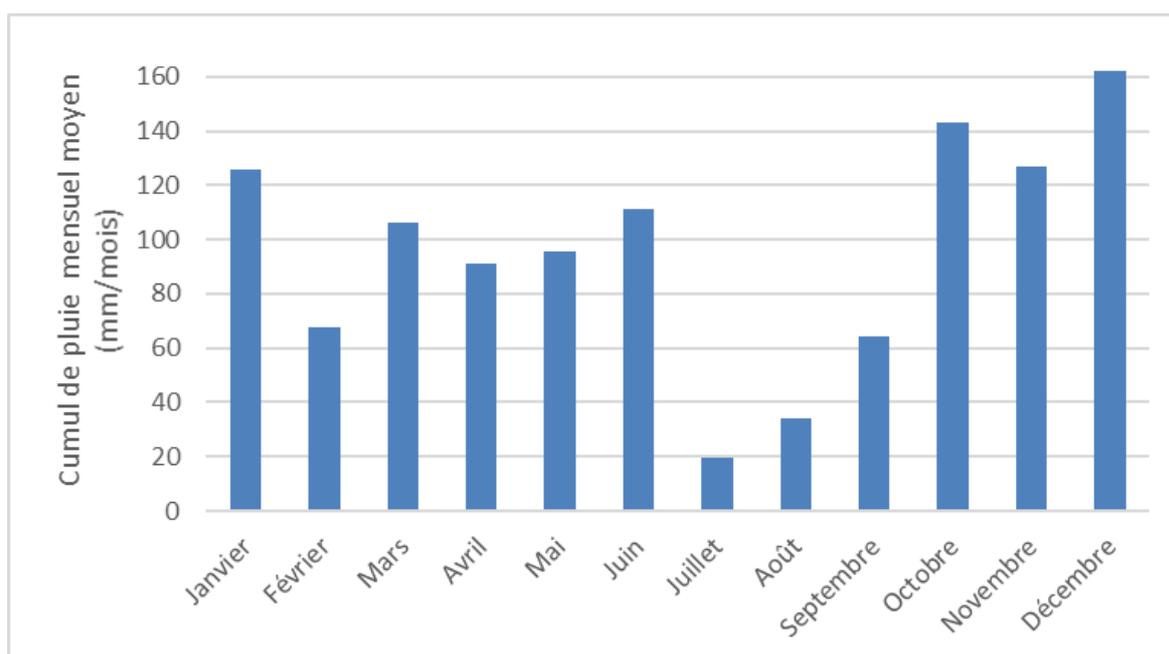
5.1.3.2.3 Pluviométrie

Dans le cadre de cette étude, nous tiendrons compte des données de pluviométrie.

Tableau 10 : statistiques relatives à la pluviométrie

	Pluviométrie annuelle (mm)
2018	1 041.3
2019	1 246.2
2020	1 153.2
Moyenne	1 146.9

Figure 8 : variation moyenne mensuelle de la pluviométrie (période du 01/01/2018 au 31/12/2020)



Notons qu'en moyenne sur la période étudiée (du 01/01/2018 au 31/12/2020), il est tombé environ 1 146,9 mm de pluie par an, l'année 2019 étant l'année la plus pluvieuse (cf. Tableau 10).

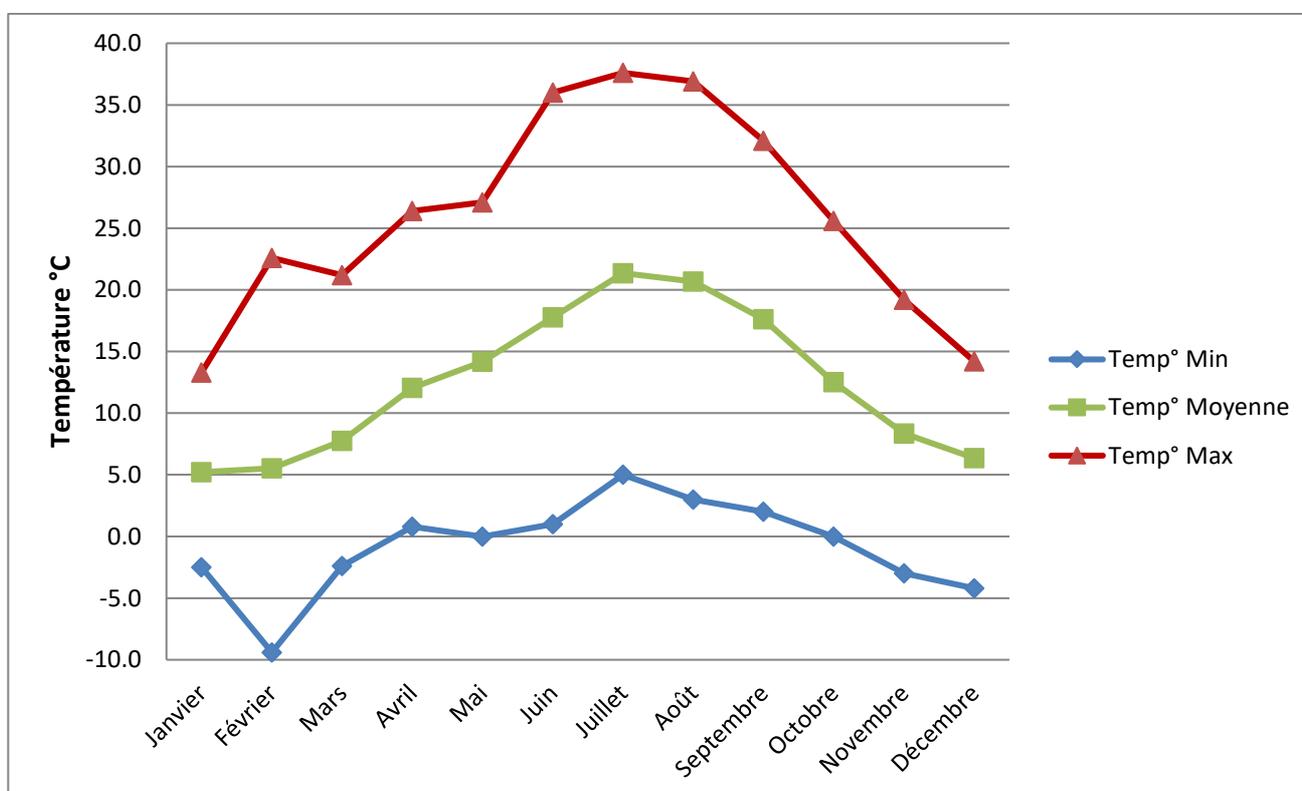
5.1.3.2.4 Températures

La température de l'air, dernier paramètre intervenant dans le processus de dispersion des polluants, est en moyenne de 12,5°C pour les trois années d'observations et varie peu au cours des trois années comme le montre le Tableau 11. La Figure 9 présente les variations moyennes mensuelles de la température minimale, moyenne et maximale sur la période du 01/01/2018 au 31/12/2020.

Tableau 11 : statistiques relatives à la température de l'air

	Température moyenne (°C)
2018	12.5
2019	12.3
2020	12.6
Moyenne	12.5

Figure 9 : variation moyenne mensuelle de la température (période du 01/01/2018 au 31/12/2020)



5.2 PRESENTATION DU LOGICIEL DE DISPERSION ET PARAMETRAGES

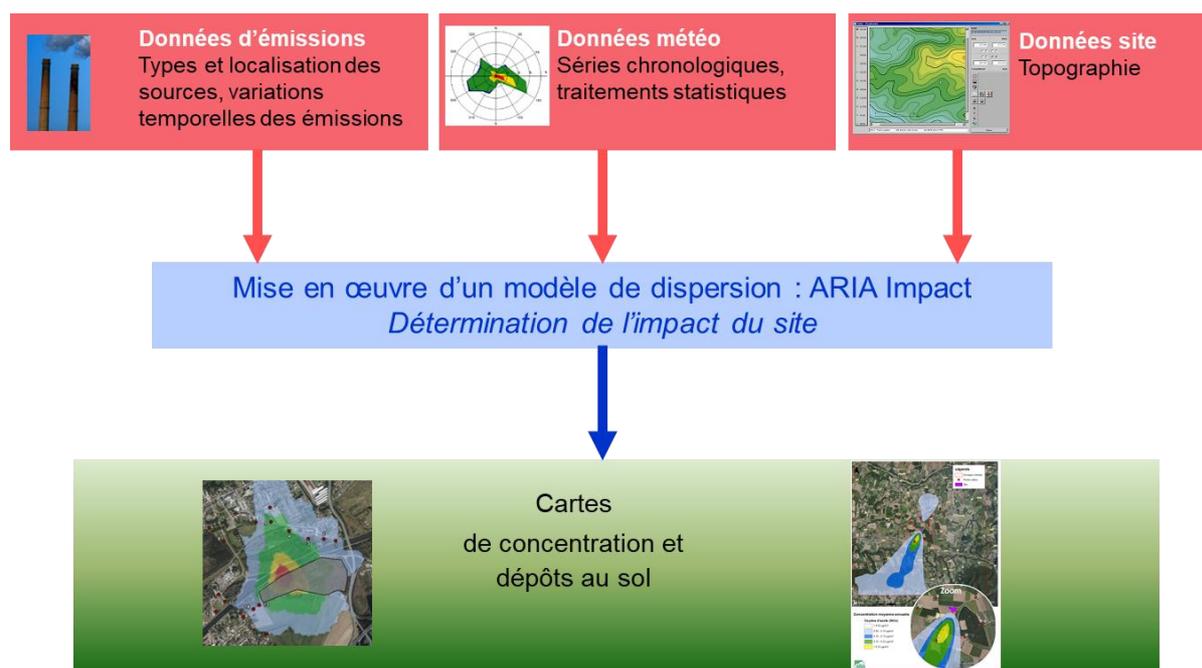
5.2.1 Présentation générale du logiciel

Le modèle utilisé pour cette analyse statistique est le logiciel ARIA Impact, version 1.8. Ce logiciel permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet de simuler plusieurs années de fonctionnement en utilisant des chroniques météorologiques représentatives du site. En revanche, il ne permet pas de considérer les transformations photochimiques des polluants et de calculer les concentrations de polluant secondaires tel que l'ozone. Sans être un modèle tridimensionnel, ARIA Impact peut prendre en compte la topographie de manière simplifiée.

Par ailleurs, ARIA Impact est un modèle gaussien qui répond aux prescriptions de l'INERIS pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du Guide méthodologique INERIS : « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en septembre 2021). Une description détaillée du modèle est présentée en Annexe 1.

Le diagramme ci-dessous schématise la méthodologie.

Figure 10 : diagramme présentant le logiciel ARIA Impact



5.2.2 Paramétrages et grandeurs calculées

5.2.2.1 Paramétrages du modèle de dispersion

Les hypothèses de calcul suivantes ont été prises en compte :

- une prise en compte simplifiée de la topographie ;
- un modèle de dispersion selon les écarts-types de Pasquill (modèle standard adapté pour les sites ruraux) ;
- une prise en compte des vents calmes ;
- une surélévation du panache due à la vitesse d'éjection et à la température des fumées suivant la formulation de Holland ;
- le calcul des dépôts au sol liés à la chute gravitaire des particules (dépôts secs) et au lessivage du panache par la pluie (dépôts humides) ;
- une maille de calcul de 75 mètres ;
- les émissions présentées au paragraphe 1.

5.2.2.2 Calcul des dépôts au sol

Concernant les calculs de dépôts au sol, les calculs prennent en compte les dépôts secs et humides sur le sol conduisant à un appauvrissement du panache.

Dans le cas des dépôts secs, les particules et les gaz se déposent sur les surfaces, par absorption chimique, et par d'autres processus biologiques, chimiques et physiques. Il est nécessaire de connaître les vitesses de dépôt des différents polluants étudiés.

Les dépôts humides correspondent aux dépôts de polluant au sol entraînés par la pluie. Les calculs de dispersion prennent en compte ce qu'on appelle un coefficient de lessivage exprimé en s^{-1} , correspondant à la proportion du polluant qui est entraîné par la pluie pendant 1 seconde.

Le Tableau 12 résume les valeurs utilisées dans le cadre de cette étude pour le calcul des dépôts.

Tableau 12 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des substances étudiées

Polluant	Phase du polluant	Vitesse de dépôt sec (m/s)	Coefficient de lessivage (s^{-1})	Diamètre de particules	Source biblio.
Arsenic	Particules	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	5	[1]
Cadmium	Particules	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$	5	[1]
Cobalt	Particules	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	5	[1]
Chrome	Particules	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	5	[1]
Mercure	Particules	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	5	[1]
Manganèse	Particules	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	5	[1]
Nickel	Particules	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	5	[1]
Plomb	Particules	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-5}$	5	[1]

[1] « Empirical atmospheric deposition parameters – a survey », T.A. McMahon, P. J. Denison, Atmospheric Environment Vol 13 (1979), 571-585.

5.2.2.3 Présentation des résultats

Les résultats sont exprimés sous forme de :

- concentration en moyenne annuelle ;
- dépôts au sol pour les espèces particulières.

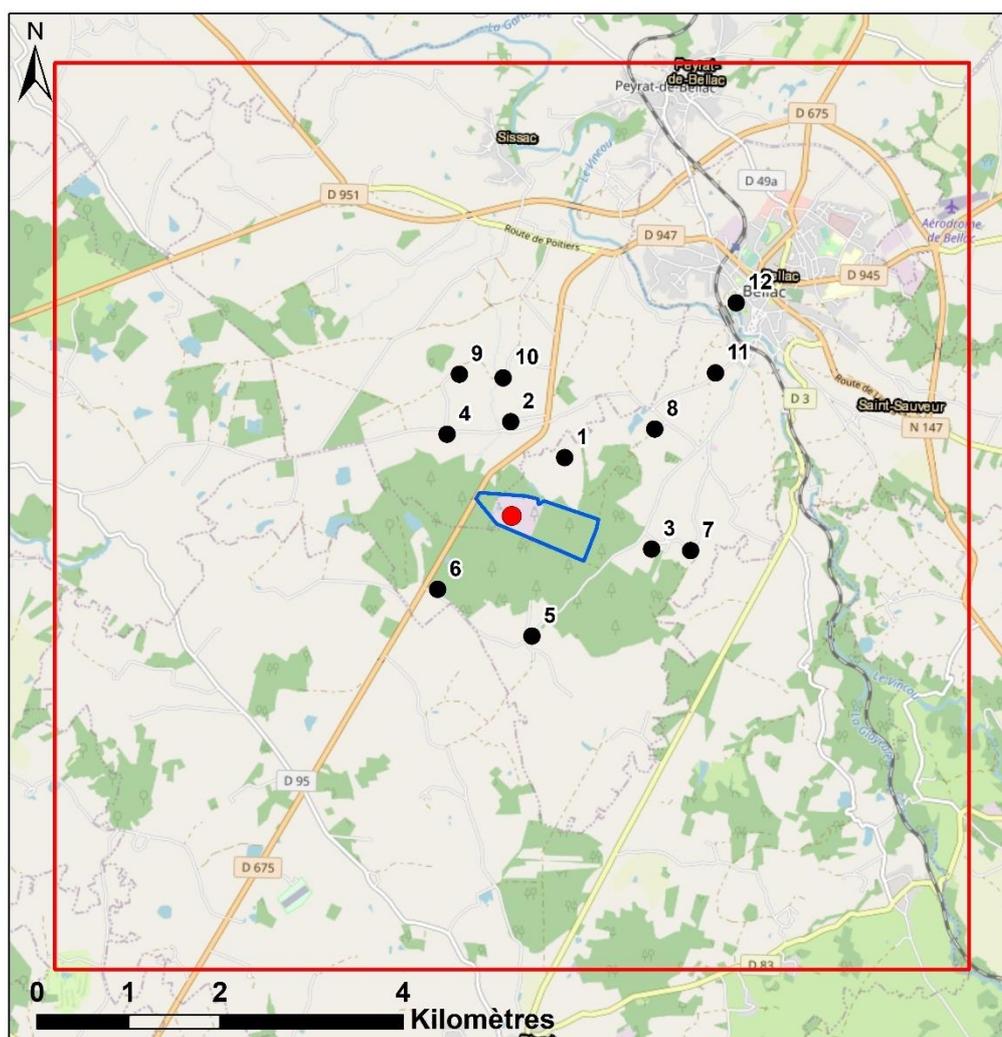
Les résultats de l'étude sont donnés sous forme de cartes et de tableaux. Ces résultats ne concernent que la contribution des rejets étudiés. L'unité retenue pour exprimer les concentrations de polluant dans l'air dans ce rapport est le ng/m³⁽⁷⁾ et le ng/m²/s ou mg/m²/j pour les dépôts au sol.

Les résultats sont également présentés au niveau de points d'intérêt présentés sur la Figure 11 et dans le Tableau 13. Il s'agit des points retenus dans le dossier 2015⁸.

⁷ microgramme de polluant par mètre cube d'air. 1 µg = 1.10⁻⁶ g

⁸ Rapport 14SBO019, « Reprise de l'étude santé – ISDND Alvéol – Communes de Bellac et de Peyrat-Bellac », SAFEGE, Mars 2015 – V3

Figure 11 : localisation des points d'intérêt



Légende

- Domaine d'étude
- Site
- Torchère
- Points cibles



Tableau 13 : points d'intérêt retenus

Point	Nom	Distance au site (m)
1	La Caure du Bost	500
2	Le Vignaud	850
3	Les Tuilières	550
4	L'étang	740
5	Vacqueur	1 100
6	Lépaud	1 150
7	La Grange des Selles	1 000
8	La Gasne	1 200
9	Chez Gauchoux Haut	1 400
10	Chez Gauchoux Bas	1 300
11	Bellac – Le Gui Noir	2 060
12	Bellac - Centre	2 800

5.3 REGLEMENTATION DE LA QUALITE DE L'AIR

5.3.1 Réglementation relative aux concentrations dans l'air

Les concentrations de polluants dans l'air caractérisent la qualité de l'air que l'on respire. Les critères réglementaires de qualité dans l'air sont régis par différents niveaux :

- **Valeur cible** : niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- **Objectif de qualité** : niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.
- **Valeur limite** : niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

Le Tableau 14 présente les valeurs réglementaires françaises du Code de l'Environnement (Titre II Livre II) relatif aux objectifs de qualité de l'air et aux valeurs limites pour les substances d'intérêt retenues pour l'étude.

Tableau 14 : valeur réglementaire française relative à la qualité de l'air

Substance	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Valeur cible (en moyenne annuelle)
Arsenic	-	-	6 ng/m ³
Cadmium	-	-	5 ng/m ³
Nickel	-	-	20 ng/m ³
Plomb	En moyenne annuelle : depuis le 01/01/02 : 0,5 µg/m ³	En moyenne annuelle : 0,25 µg/m ³	-

5.3.2 Réglementation relative aux dépôts au sol

Il n'existe pas de valeurs limites fixées par une réglementation européenne ou française concernant les dépôts de particules sédimentables. Néanmoins quelques pays ont fixé des valeurs limites admissibles des dépôts en poussières sédimentables pour l'environnement :

- la Suisse⁹ : 200 mg/m²/jour
- l'Allemagne¹⁰ : 350 mg/m²/jour

Mentionnons également la valeur seuil proposée pour différencier une zone dite faiblement polluée d'une zone fortement polluée par la norme française NF X 43007 concernant les mesures de "retombées" en PM10 par la méthode des plaquettes de "dépôts". Une zone dite faiblement polluée est une zone sur laquelle il se dépose moins de 1 000 mg/m²/jour.

⁹ « Les poussières fines en Suisse - Rapport de la Commission Fédérale de l'Hygiène de l'Air (CFHA) », CFHA, Berne, 2007.

¹⁰ Valeurs guides allemandes (TA Luft 2002).

5.4 CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES

Les résultats de concentrations moyennes annuelles vont permettre de fournir les éléments nécessaires pour évaluer les risques par inhalation.

Le Tableau 15 présente les valeurs calculées :

- au point géographique le plus exposé du domaine d'étude ;
- au point géographique le plus exposé en dehors des limites du site ;
- au niveau des points d'intérêt.

Tableau 15 : concentrations moyennes annuelles

Points d'intérêt		As	Cd	Co	Cr	Hg	Mn	Ni	Pb
N°	Nom	ng/m ³							
1	La Caure du Bost	1.6E-03	1.2E-03	2.2E-04	7.8E-03	1.2E-03	3.1E-02	1.6E-02	1.5E-02
2	Le Vignaud	9.2E-04	7.2E-04	1.3E-04	4.5E-03	7.2E-04	1.8E-02	9.4E-03	9.0E-03
3	Les Tuilières	5.7E-04	4.3E-04	7.7E-05	2.7E-03	4.6E-04	1.1E-02	5.6E-03	5.5E-03
4	L'étang	7.2E-04	5.7E-04	1.0E-04	3.6E-03	5.6E-04	1.4E-02	7.3E-03	7.0E-03
5	Vacqueur	6.7E-04	5.1E-04	9.1E-05	3.2E-03	5.4E-04	1.3E-02	6.7E-03	6.5E-03
6	Lépaud	1.9E-03	1.5E-03	2.6E-04	9.4E-03	1.5E-03	3.8E-02	1.9E-02	1.9E-02
7	La Grange des Selles	3.6E-04	2.8E-04	4.9E-05	1.7E-03	2.9E-04	6.9E-03	3.6E-03	3.5E-03
8	La Gasne	4.0E-04	3.1E-04	5.4E-05	1.9E-03	3.2E-04	7.7E-03	4.0E-03	3.9E-03
9	Chez Gauchoux Haut	3.7E-04	2.9E-04	5.1E-05	1.8E-03	2.9E-04	7.3E-03	3.8E-03	3.6E-03
10	Chez Gauchoux Bas	4.0E-04	3.2E-04	5.6E-05	2.0E-03	3.2E-04	8.0E-03	4.1E-03	3.9E-03
11	Bellac – Le Gui Noir	2.0E-04	1.5E-04	2.7E-05	9.4E-04	1.6E-04	3.8E-03	2.0E-03	1.9E-03
12	Bellac - Centre	1.3E-04	1.0E-04	1.8E-05	6.4E-04	1.1E-04	2.6E-03	1.3E-03	1.3E-03
Point le plus exposé du domaine d'étude		3.4E-02	2.8E-02	4.9E-03	1.8E-01	2.6E-02	7.2E-01	3.6E-01	3.4E-01
Point le plus exposé en dehors des limites du site		1.1E-02	9.1E-03	1.6E-03	5.8E-02	8.7E-03	2.3E-01	1.2E-01	1.1E-01
<i>Objectif de qualité</i>		-	-	-	-	-	-	-	250
<i>Valeur limite</i>		-	-	-	-	-	-	-	500
<i>Valeur cible</i>		6	5	-	-	-	-	20	-

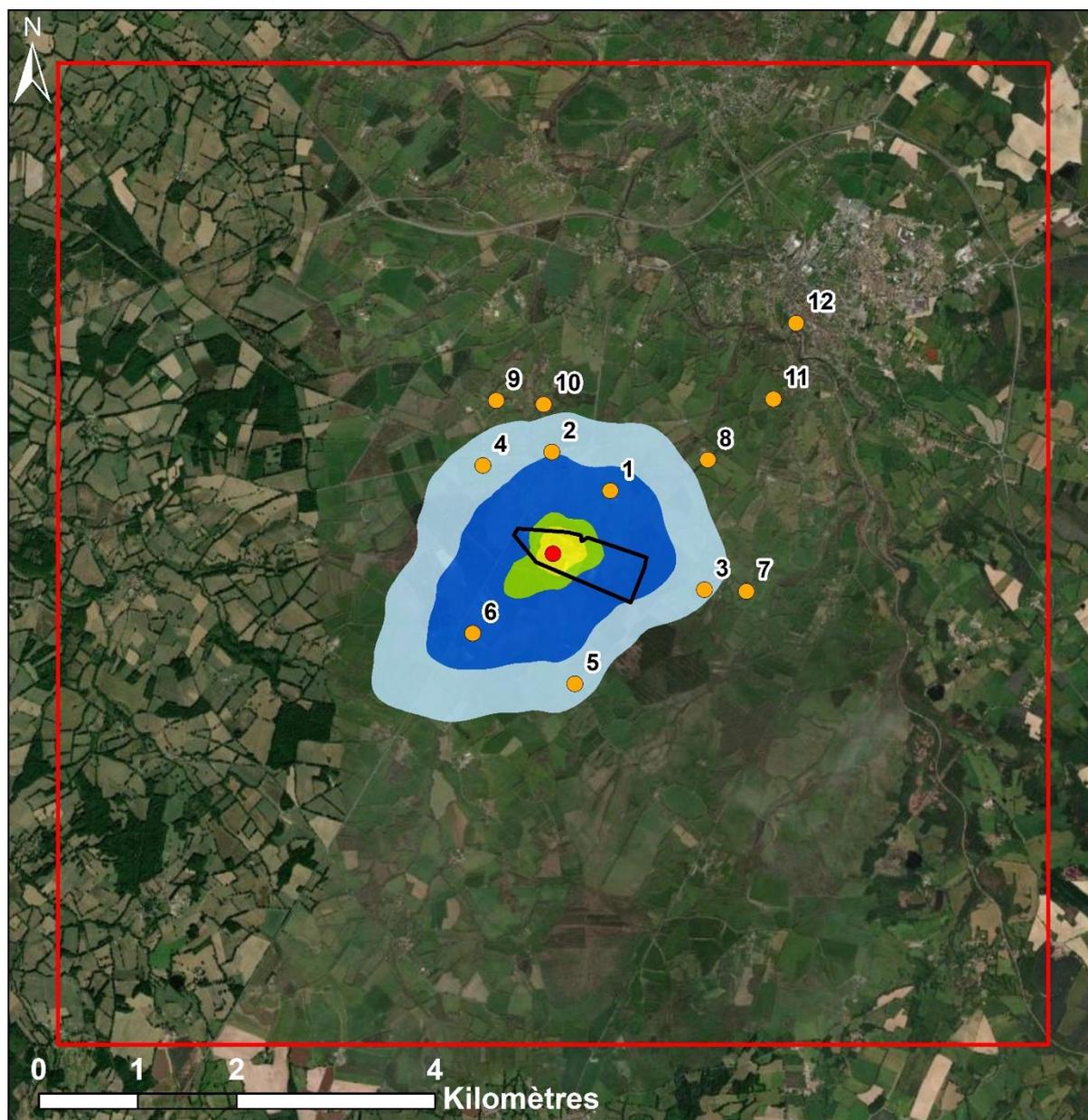
Les concentrations en moyenne annuelle sont inférieures aux valeurs limites de la qualité de l'air pour toutes les substances lorsqu'elles existent.

Le point d'intérêt le plus exposé est le point n°6 correspondant aux premières habitations au lieu-dit "Lépaud" situées au Sud-Ouest du site. Les concentrations restent inférieures aux valeurs réglementaires françaises de la qualité de l'air sur tout le domaine d'étude et donc pour tous les points d'intérêt.

La Figure 12 présente la carte de concentration en moyenne annuelle sur le domaine d'étude pour l'arsenic. Les cartes pour les autres substances se trouvent en Annexe 2. Les aplats colorés montrent les zones où les concentrations au niveau du sol sont comprises entre deux valeurs, par exemple, les zones en « vert » sur la Figure 12 correspondent à des concentrations en arsenic comprises entre 0,005 et 0,01 ng/m³.

Les cartographies reflètent la rose des vents avec des panaches se dirigeant dans deux directions principales : le nord-est et le sud-ouest. Les concentrations les plus importantes se trouvent sur le site.

Figure 12 : carte de concentration en moyenne annuelle en arsenic



Légende

 Domaine d'étude	Concentration moyenne annuelle en As (ng/m3)
 Site	 < 0.0005
 Torchère	 0.0005 - 0.001
 Points cibles	 0.001 - 0.005
	 0.005 - 0.01
	 > 0.01



5.5 DEPOTS AU SOL

Les résultats de dépôts au sol (somme des dépôts secs et humides) vont permettre de fournir les éléments nécessaires pour évaluer les risques par ingestion.

Le Tableau 16 présente les dépôts totaux pour chacun des métaux :

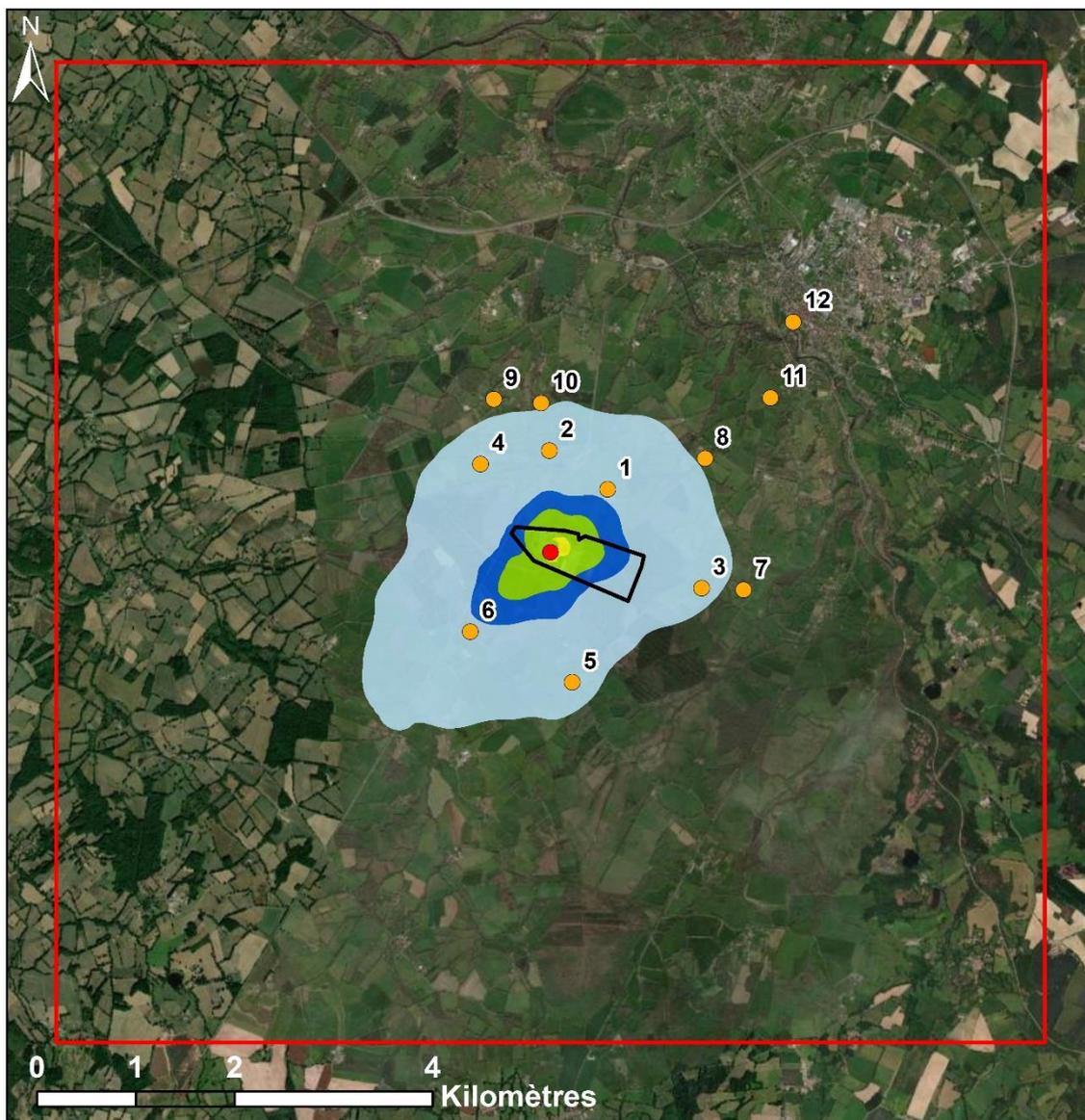
- au point géographique le plus exposé du domaine d'étude ;
- au point géographique le plus exposé en dehors des limites du site ;
- au niveau des points d'intérêt.

Tableau 16 : dépôts au sol moyens annuels

Points d'intérêt		As	Cd	Co	Cr	Hg	Mn	Ni	Pb
Nom		mg/m ² /j							
1	La Caure du Bost	3.0E-07	4.8E-07	7.8E-08	3.4E-06	5.3E-08	1.5E-05	6.2E-06	4.0E-06
2	Le Vignaud	1.8E-07	2.8E-07	4.5E-08	2.0E-06	3.1E-08	8.9E-06	3.6E-06	2.3E-06
3	Les Tuilières	1.1E-07	1.7E-07	2.7E-08	1.2E-06	2.0E-08	5.3E-06	2.2E-06	1.4E-06
4	L'étang	1.4E-07	2.2E-07	3.5E-08	1.5E-06	2.4E-08	6.9E-06	2.8E-06	1.8E-06
5	Vacqueur	1.3E-07	2.0E-07	3.2E-08	1.4E-06	2.3E-08	6.2E-06	2.6E-06	1.7E-06
6	Lépaud	3.7E-07	5.8E-07	9.4E-08	4.1E-06	6.7E-08	1.8E-05	7.5E-06	4.9E-06
7	La Grange des Selles	6.9E-08	1.1E-07	1.8E-08	7.5E-07	1.3E-08	3.4E-06	1.4E-06	9.2E-07
8	La Gasne	7.6E-08	1.2E-07	1.9E-08	8.3E-07	1.4E-08	3.7E-06	1.6E-06	1.0E-06
9	Chez Gauchoux Haut	7.1E-08	1.1E-07	1.8E-08	7.9E-07	1.3E-08	3.6E-06	1.5E-06	9.5E-07
10	Chez Gauchoux Bas	7.9E-08	1.3E-07	2.0E-08	8.7E-07	1.4E-08	3.9E-06	1.6E-06	1.0E-06
11	Bellac – Le Gui Noir	3.8E-08	5.9E-08	9.6E-09	4.1E-07	6.8E-09	1.8E-06	7.7E-07	5.0E-07
12	Bellac - Centre	2.6E-08	4.0E-08	6.5E-09	2.8E-07	4.6E-09	1.3E-06	5.2E-07	3.4E-07
Point le plus exposé du domaine d'étude		6.5E-06	1.1E-05	1.7E-06	7.6E-05	1.1E-06	3.4E-04	1.4E-04	8.7E-05
Point le plus exposé en dehors des limites du site		2.2E-06	3.6E-06	5.7E-07	2.5E-05	3.7E-07	1.1E-04	4.6E-05	2.9E-05

La Figure 13 présente la carte des dépôts pour l'arsenic sur le domaine d'étude. Les cartes pour les autres substances sont présentées en Annexe 3. La zone de dépôts la plus importante est située sur le site. Les dépôts diminuent rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du site.

Figure 13 : dépôts au sol moyens annuels en arsenic



Légende

- | | |
|---|---|
|  Domaine d'étude | Dépôts au sol moyens annuels en As (ng/m²/s) |
|  Site |  < 1E-06 |
|  Torchère |  1E-06 - 5E-06 |
|  Points cibles |  5E-06 - 1E-05 |
| |  1E-05 - 5E-05 |
| |  > 5E-05 |



6. EVALUATION PROSPECTIVE DES RISQUES SANITAIRES

6.1 EVALUATION DE L'EXPOSITION HUMAINE

L'étude de dispersion (cf. paragraphe 5) a permis d'estimer les concentrations dans l'air et les dépôts sur le sol imputables au site. Ces résultats serviront dans le cadre de cette étude pour estimer les expositions des populations vivant autour du site et caractériser les risques.

6.1.1 Scénarios d'exposition retenus

Compte tenu des rejets des installations du site, des usages et des populations avoisinantes, les voies d'exposition retenues sont les suivantes (cf. schéma conceptuel d'exposition au paragraphe 0) :

- l'inhalation,
- l'ingestion :
 - de sol (ingestion directe),
 - de viande, volailles, œufs, lait, produits laitiers, de fruits et légumes (ingestion indirecte).

L'évaluation de l'exposition humaine est réalisée pour un scénario d'exposition : scénario Habitant « Majorant ».

L'étude porte sur des expositions chroniques, c'est-à-dire des expositions récurrentes ou continues pendant plusieurs années. La durée d'exposition des populations habitant à proximité du site a été prise égale à 70 ans. Cette durée d'exposition est celle utilisée dans l'étude réalisée en Mars 2015 par SAFEGE.

Tableau 17 : récapitulatif du scénario

SCENARIO	HABITANT « MAJORANT »
Individu	Adulte (plus de 18 ans) Enfant (6 classes d'âge)
Durée d'exposition	100 % du temps (7J/7, 365 jours/an) pendant 70 ans
Valeur retenue pour l'exposition par inhalation	Concentration au niveau de la zone habitée la plus exposée (point 6 – « Lépaud »)
Valeur retenue pour l'exposition par ingestion	Ingestion directe et indirecte Dépôts au niveau de la zone habitée la plus exposée (point 6 – « Lépaud »)

Le Tableau 18 rappelle les valeurs de concentrations et de dépôts au sol retenus, valeurs qui seront utilisées pour le calcul des doses d'exposition par inhalation et par ingestion.

Cas du chrome : Le chrome total est composé du chrome +VI et du chrome +III.

- pour l'exposition par inhalation : pour le calcul des risques par inhalation, le chrome total a été assimilé à du chrome VI, sa forme la plus toxique.
- pour l'exposition par ingestion : dans les sols, le chrome se trouve essentiellement sous la forme +III et peu sous la forme +VI (INERIS, 2005). C'est pourquoi le chrome total a été assimilé à du chrome III pour le calcul des risques par ingestion.

Tableau 18 : concentrations et dépôts retenus

	SCENARIO	HABITANT MAJORANT
	Lieu	Domicile
Concentrations en moyenne annuelle (exposition chronique par inhalation)		
Arsenic	µg/m ³	1.9E-06
Cadmium	µg/m ³	1.5E-06
Cobalt	µg/m ³	2.6E-07
Chrome VI	µg/m ³	9.4E-06
Mercure	µg/m ³	1.5E-06
Manganèse	µg/m ³	3.8E-05
Nickel	µg/m ³	1.9E-05
Plomb	µg/m ³	1.9E-05
Dépôts totaux au sol (exposition chronique par ingestion)		
Arsenic	µg/m ² /s	4.2E-09
Cadmium	µg/m ² /s	6.8E-09
Cobalt	µg/m ² /s	1.1E-09
Chrome III	µg/m ² /s	4.7E-08
Mercure	µg/m ² /s	7.7E-10
Manganèse	µg/m ² /s	2.1E-07
Nickel	µg/m ² /s	8.7E-08
Plomb	µg/m ² /s	5.6E-08

6.1.2 Exposition par inhalation

6.1.2.1 Calcul des concentrations moyennes inhalées

Pour une exposition par inhalation, la dose d'exposition par inhalation correspond à la concentration moyenne inhalée (CI) et est calculée de la manière suivante :

$$CI = \frac{\sum Ci \times ti}{T}$$

Avec :

CI : concentration moyenne inhalée (µg/m³)

Ci : concentration de polluant dans l'air au lieu i (µg/m³)

ti/T : Fraction du temps d'exposition à la concentration Ci

Le Tableau 19 présente les concentrations moyennes inhalées (CI) calculées.

Tableau 19 : concentrations moyennes inhalées (CI)

Substance	Unité	HABITANT MAJORANT
Arsenic	µg/m ³	1.9E-06
Cadmium	µg/m ³	1.5E-06
Cobalt	µg/m ³	2.6E-07
Chrome VI	µg/m ³	9.4E-06
Mercure	µg/m ³	1.5E-06
Manganèse	µg/m ³	3.8E-05
Nickel	µg/m ³	1.9E-05
Plomb	µg/m ³	1.9E-05

6.1.3 Exposition par ingestion

Il existe pour certains éléments comme les métaux une possibilité d'exposition par ingestion liée aux retombées atmosphériques. Il convient de distinguer deux voies d'exposition potentielles par ingestion :

- **l'une directe par le biais d'ingestion de poussières** (mains, objets ou aliments souillés par de la terre et portés à la bouche). Des études expérimentales ont en effet permis d'estimer la part de poussières et de sols ingérés par les personnes exposées pour différentes tranches de la vie. Il est montré que les enfants, de par leurs jeux et comportements, ingèrent de plus grandes quantités de terre que les adultes.
- **l'autre indirecte par le transfert de contaminants au travers de la chaîne alimentaire**. Cette voie concerne les composés susceptibles de se redéposer et qui ont de plus un caractère bio-cumulatif, c'est-à-dire qui ont la possibilité de s'accumuler sans être dégradés dans les végétaux et animaux.

6.1.3.1 Cibles retenues

En fonction des données disponibles sur les consommations alimentaires des individus, la population a été divisée en plusieurs classes d'âge :

- classe 1 : de 0 à 1 an,
- classe 2 : de 1 à 3 ans,
- classe 3 : de 3 à 6 ans,
- classe 4 : de 6 à 11 ans,
- classe 5 : de 11 à 15 ans,
- classe 6 : de 15 à 18 ans,
- classe 7 : les plus de 18 ans.

Chaque classe d'âge inclut la borne inférieure et exclut la borne supérieure.

6.1.3.2 Voies d'exposition par ingestion

Les différentes voies possibles d'exposition par ingestion de produits d'origine locale sont les suivantes :

- ingestion de sol,
- ingestion de légumes-racines,
- ingestion de légumes-feuilles,
- ingestion de légumes-fruits,
- ingestion de fruits,
- ingestion de viande bovine,
- ingestion de viande de porc,
- ingestion de viande de volaille,
- ingestion de lait et produits laitiers,
- ingestion d'œufs.

Ainsi, l'exposition par ingestion et en particulier par ingestion indirecte a été estimée en effectuant un calcul à partir d'équations simples qui permet une estimation sommaire de l'apport lié à l'ingestion de légumes et fruits d'origine locale (EPA, HHRAP)¹¹.

¹¹ EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion facilities. July 1998. EPA530-

La méthodologie utilisée pour déterminer les concentrations dans les milieux d'exposition est détaillée en Annexe 4.

6.1.3.3 Calcul des Doses Journalières d'Exposition

La Dose Journalière d'Exposition (DJE) par ingestion est calculée suivant l'équation :

$$DJE = \sum_i \frac{C_i \times Q_i \times f_i}{P}$$

Avec :

- DJE : Dose Journalière d'Exposition totale (mg/kg poids corporel/jour)
- C_i : concentration en polluant dans l'aliment i (mg/kg)
 i correspondant au sol (terre ingérée), aux légumes-feuilles, aux légumes-fruits, aux légumes-racines, aux fruits, à la viande de volaille, aux œufs, aux autres viandes et aux produits laitiers.
- Q_i : quantité de l'aliment i ingérée (kg/jour)
- f_i : fraction d'aliment i provenant de la zone d'exposition (-)
- P : masse corporelle de la cible (kg)

Les concentrations C_i dans l'aliment i sont calculées suivant les méthodologies présentées en Annexe 4.

Les Doses Journalières d'Exposition sont calculées en prenant comme hypothèses les valeurs de poids corporel, de consommations journalières et de taux d'autoconsommation préconisées par l'INERIS¹² et utilisées dans le logiciel MODUL'ERS pour chaque catégorie d'âge (Tableau 20 et Tableau 21).

Tableau 20 : paramètres relatifs aux différentes catégories d'âge (source INERIS 2017)

	Classe 1 : de 0 à 1 an	Classe 2 : de 1 à 3 ans	Classe 3 : de 3 à 6 ans	Classe 4 : de 6 à 11 ans	Classe 5 : de 11 à 15 ans	Classe 6 : de 15 à 18 ans	Classe 7 : les plus de 18 ans
Poids (kg)	7.6	12.4	17.8	28.7	47.2	60	70.4
Consommation de terre							
Quantité de terre ingérée (mg/j)	30	50	50	50	20	20	20
Consommation de légumes et fruits							
Quantité de fruit ingérée (g/j)	16	53	90	90	83	82	160
Quantité de tubercules ingérée (g/j)	18	52	46	46	58	60	58
Quantité de légume racine ingérée (g/j)	15	26	7.1	7.0	8.6	8.9	12.0
Quantité de légume feuille ingérée (g/j)	6.6	22.0	7.6	10.0	12.0	12.0	24.0
Quantité de légume fruit ingérée (g/j)	11	40	66	64	70	72	110
Consommation de produits d'origine animale							
Quantité de bœuf ingérée (g/j)	8.9	31.0	32.0	32.0	39.0	39.0	47.0
Quantité de porc ingérée (g/j)	0.3	22.0	25.0	25.0	32.0	34.0	40.0
Quantité de viande de volaille ingérée (g/j)	2.4	11.0	17.0	17.0	23.0	25.0	32.0
Quantité de produits laitiers ingérée (g/j)	120.0	400.0	310.0	310.0	260.0	230.0	210.0
Quantité d'œufs ingérée (g/j)	1.8	11.0	10.0	10.0	10.0	11.0	15.0

D-98-001A.

¹² Rapport INERIS-DRC-14-141968-11173C (juin 2017) – Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS

Tableau 21 : fraction d'aliments auto-produits (source INERIS 2017)

Catégories d'aliments	Fraction d'aliments auto-produits en population générale
Sol	1
Fruits	0.20
Tubercules	0.45
Légume racine	0.45
Légume feuille	0.50
Légume fruit	0.55
Viande de bœuf	0.03
Viande de porc	0.04
Viande de volaille	0.11
Oeufs	0.15
Lait et produits laitiers	0.04

Les Doses Journalières d'Exposition par ingestion ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 22.

Tableau 22 : dose Journalière d'Exposition par ingestion et pour chaque tranche d'âge

En mg/kg/jour	Arsenic	Cadmium	Chrome III	Cobalt	Manganèse	Méthylmercure	Mercure inorganique	Nickel	Plomb
DJE Classe 1 : de 0 à 1 an	3.4E-09	7.7E-09	4.4E-08	1.5E-09	3.6E-07	9.3E-11	6.1E-09	8.5E-08	6.3E-08
DJE Classe 2 : de 1 à 3 ans	4.1E-09	1.0E-08	5.9E-08	2.1E-09	5.9E-07	1.5E-10	1.0E-08	1.2E-07	1.1E-07
DJE Classe 3 : de 3 à 6 ans	2.7E-09	7.3E-09	3.8E-08	1.3E-09	4.6E-07	8.3E-11	7.5E-09	7.8E-08	8.1E-08
DJE Classe 4 : de 6 à 11 ans	1.7E-09	4.6E-09	2.4E-08	8.4E-10	2.9E-07	5.2E-11	4.6E-09	4.9E-08	5.1E-08
DJE Classe 5 : de 11 à 15 ans	6.1E-10	2.2E-09	9.3E-09	4.0E-10	1.6E-07	3.4E-11	3.0E-09	2.0E-08	2.8E-08
DJE Classe 6 : de 15 à 18 ans	4.8E-10	1.8E-09	7.2E-09	3.1E-10	1.3E-07	2.7E-11	2.4E-09	1.6E-08	2.3E-08
DJE Enfant (moyenne)	2.2E-09	5.7E-09	3.0E-08	1.1E-09	3.3E-07	7.3E-11	5.7E-09	6.1E-08	5.9E-08
DJE Classe 7 : les plus de 18 ans	8.8E-10	3.9E-09	1.3E-08	6.2E-10	3.2E-07	5.9E-11	6.0E-09	3.0E-08	5.0E-08
DJE pondérée sur 50 ans	8.3E-10	2.6E-09	1.2E-08	4.7E-10	1.8E-07	3.6E-11	3.2E-09	2.6E-08	3.2E-08

6.2 CARACTERISATION DES RISQUES

La caractérisation des risques est la dernière étape de la démarche d'évaluation des risques sanitaires. Elle consiste à confronter les concentrations ou doses auxquelles les populations sont exposées et les valeurs toxicologiques de référence retenues.

6.2.1 Méthodologie

La caractérisation des risques étant établie à partir des valeurs toxicologiques de référence, elle se distingue, de la même façon que les VTR pour les composés à effet à seuil et pour les composés à effet sans seuil.

6.2.1.1 Risques pour les effets à seuil

Pour les polluants à seuil (atteinte d'un organe ou d'un système d'organes), il s'agit de calculer les quotients de danger (QD) qui sont le rapport entre les concentrations (CI, Concentration moyenne Inhalée) attendues dans l'environnement ou la Dose Journalière d'Exposition (DJE) et la Valeur Toxicologique de Référence (VTR) (Concentration ou Dose de Référence).

Le quotient de danger est donc le suivant :

$$QD = \frac{\text{Inhalation } CI}{VTR_{AS,inh}} \qquad QD = \frac{\text{Ingestion } DJE}{VTR_{AS,ing}}$$

où : QD : Quotient de danger
CI : Concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
VTR_{AS,ing} : Valeur Toxicologique de Référence à seuil par inhalation (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
DJE : Dose journalière d'Exposition (en mg/kg de poids corporel/jour)
VTR_{AS,inh} : Valeur Toxicologique de Référence à seuil par ingestion (en mg/kg/jour)

Pour l'exposition par ingestion, la DJE étant fonction des quantités ingérées, variables avec l'âge, il est calculé un QD pour chacune des tranches d'âge entre 0 et 18 ans et pour les adultes (plus de 18 ans). Dans les tableaux de résultats, les résultats de ces tranches d'âge d'enfants sont présentés sous le terme « enfants » qui est une moyenne des cinq tranches d'âge de 0 à 18 ans inclus.

En termes d'interprétation, lorsque ce quotient est inférieur à 1, la survenue d'effet toxique apparaît peu probable même pour les populations sensibles. Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'effets ne peut être exclue.

6.2.1.2 Risques pour les effets sans seuil

Pour les polluants cancérigènes génotoxiques et donc considérés sans seuil d'effet, le risque représente la probabilité de survenue d'effets nocifs chez un individu.

L'excès de risque individuel (ERI) est calculé en multipliant la Valeur Toxicologique de Référence sans seuil appelée Excès de Risque Unitaire (ERU) vie entière (conventionnellement 70 ans) par la dose journalière d'exposition (DJE) pour l'ingestion ou par la concentration atmosphérique inhalée (CI) pour l'inhalation.

L'Excès de Risque Individuel est donc le suivant :

$$ERI = \sum \overset{\text{Inhalation}}{CI_i} \times \frac{T_i}{T_m} \times VTR_{SS,inh} \qquad \qquad \qquad ERI = \sum \overset{\text{Ingestion}}{DJE_i} \times \frac{T_i}{T_m} \times VTR_{SS,ing}$$

où : ERI : Excès de Risque Individuel

VTR_{SS} =ERU : Excès de Risque Unitaire par ingestion (en $(\text{mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$) ou par inhalation (ERU_i en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$). L'ERU correspond à la probabilité supplémentaire de survenue de cancer dans une population exposée à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par rapport à la probabilité de cancer dans une population non exposée.

CI_i : Concentration inhalée pour la période d'exposition i (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

DJE_i : Dose journalière d'Exposition pour la période d'exposition i (en $\text{mg}/\text{kg}/\text{jour}$)

T_i : durée de la période d'exposition i (années)

En termes d'interprétation, l'ERI représente la probabilité supplémentaire de survenue d'un effet néfaste chez un individu exposé pendant toute sa vie aux concentrations/doses du composé cancérigène, par rapport à un sujet non exposé.

Le niveau de risque cancérigène peut être comparé au risque de 1 pour 100 000 (ou 10^{-5}), niveau repère, qualifié « d'acceptable », par différentes instances internationales.

6.2.1.3 Critères d'acceptabilité

Pour apprécier les résultats de la caractérisation des risques, les indicateurs de risque de chaque substance sont comparés, conformément à la circulaire du 9 août 2013 et au guide de l'INERIS 2021, aux valeurs repères suivantes :

- les QD ne doivent pas dépasser 1 ;
- les ERI ne doivent pas dépasser 10^{-5} .

Ces valeurs repères (ou critères d'acceptabilité) sont utilisées par l'évaluateur pour distinguer les risques jugés « non préoccupants » des risques jugés « préoccupants » du point de vue de la santé des populations exposées.

6.2.1.4 Risque global

Pour tenir compte de l'exposition conjointe à plusieurs composés (exposition combinée), il est possible d'estimer le risque sanitaire global en additionnant les risques (QD ou ERI) pour tous les traceurs de risque.

Toutefois, les critères d'acceptabilité fixés par la circulaire du 9 août 2013 et repris dans le guide INERIS 2021 s'appliquent aux résultats substance par substance, sans additionner les QD et les ERI.

6.2.2 Evaluation des risques sanitaires pour les substances à seuil

Le Tableau 23 présente les Quotients de Danger (QD) calculés pour les traceurs du risque à partir des Concentrations Inhalées (CI) ou des Doses Journalières d'Exposition (DJE) et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues. Les QD sont classés par ordre décroissant afin de hiérarchiser les substances et les voies d'exposition.

Pour tous les traceurs de risque à seuil et pour l'ensemble des voies d'exposition, le quotient de danger est très inférieur à la valeur repère égale à 1. Le cobalt par inhalation présente le quotient de danger le plus élevé avec une valeur de $2,6 \cdot 10^{-3}$ (dans la zone habitée la plus exposée).

Tableau 23 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil

Substance	Voie d'exposition	VTR (mg/kg/j)	HABITANT MAJORANT			
			Dose d'exposition (CI ou DJE)		Quotient de Danger (QD)	
			Enfant	Adulte	Enfant	Adulte
Cobalt	Inhalation	0.0001	2.6E-07	2.6E-07	2.6E-03	2.6E-03
Chrome	Inhalation (Cr VI)	0.03	9.4E-06	9.4E-06	3.1E-04	3.1E-04
Manganèse	Inhalation	0.3	3.8E-05	3.8E-05	1.3E-04	1.3E-04
Arsenic	Inhalation	0.015	1.9E-06	1.9E-06	1.3E-04	1.3E-04
Nickel	Inhalation	0.23	1.9E-05	1.9E-05	8.4E-05	8.4E-05
Plomb	Ingestion	0.00063	5.9E-08	5.0E-08	9.4E-05	7.9E-05
Mercure	Inhalation	0.03	1.5E-06	1.5E-06	5.1E-05	5.1E-05
Plomb	Inhalation	0.9	1.9E-05	1.9E-05	2.1E-05	2.1E-05
Nickel	Ingestion	0.0028	6.1E-08	3.0E-08	2.2E-05	1.1E-05
Cadmium	Ingestion	0.00035	5.7E-09	3.9E-09	1.6E-05	1.1E-05
Mercure inorganique	Ingestion	0.00057	5.7E-09	6.0E-09	1.0E-05	1.1E-05
Manganèse	Ingestion	0.055	3.3E-07	3.2E-07	6.0E-06	5.9E-06
Cadmium	Inhalation (Effets cancérigènes)	0.3	1.5E-06	1.5E-06	5.0E-06	5.0E-06
Cadmium	Inhalation (Effets non cancérigènes)	0.45	1.5E-06	1.5E-06	3.3E-06	3.3E-06
Arsenic	Ingestion	0.00045	2.2E-09	8.8E-10	4.8E-06	1.9E-06
Méthylmercure	Ingestion	0.00019	7.3E-11	5.9E-11	3.8E-07	3.1E-07
Chrome	Ingestion (Cr III)	0.3	3.0E-08	1.3E-08	1.0E-07	4.2E-08
Cobalt	Ingestion	1.5	1.1E-09	6.2E-10	7.2E-10	4.1E-10
VALEUR REPERE					1	1

Le Tableau 24 synthétise les Quotients de Danger (QD) calculés par substance pour l'ensemble des voies d'exposition (exposition agrégée).

Tableau 24 : exposition agrégée - quotients de danger calculés par substance

Substance	Voies d'exposition	QD		Valeur repère
		Enfant	Adulte	
Cobalt	Inhalation, Ingestion	2.6E-03	2.6E-03	1
Chrome	Inhalation, Ingestion	3.1E-04	3.1E-04	
Manganèse	Inhalation, Ingestion	1.3E-04	1.3E-04	
Arsenic	Inhalation, Ingestion	1.3E-04	1.3E-04	
Plomb	Inhalation, Ingestion	1.1E-04	1.0E-04	
Nickel	Inhalation, Ingestion	1.1E-04	9.5E-05	
Mercure	Inhalation, Ingestion	6.2E-05	6.2E-05	
Cadmium	Inhalation, Ingestion	2.5E-05	2.0E-05	

Les Quotients de Danger calculés par substance sont tous très inférieurs à la valeur repère égale à 1. Toute voie d'exposition confondue, le cobalt est la substance présentant le quotient de danger le plus élevé.

La survenue d'effets toxiques liés aux rejets en métaux de la torchère équipée du nouveau Vapotherm apparaît donc peu probable. Les risques liés aux toxiques à effets à seuil induits par ces rejets peuvent être jugés « non préoccupants » selon les critères d'acceptabilité.

6.2.3 Evaluation des risques sanitaires pour les substances sans seuil

Le Tableau 25 présente les Excès de Risque Individuel (ERI) calculés pour les traceurs du risque à partir des Concentrations inhalées (CI) ou des Doses Journalières d'Exposition (DJE) et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues. Les ERI sont classés par ordre décroissant afin de hiérarchiser les substances.

Pour tous les traceurs de risque sans seuil et pour l'ensemble des voies d'exposition, l'Excès de Risque Individuel est très inférieur à la valeur repère égale à 1.10^{-5} . Le chrome par inhalation présente l'Excès de Risque Individuel le plus élevé avec une valeur de $3,7.10^{-7}$.

Tableau 25 : excès de risque individuel pour les traceurs de risque sans seuil

Substance	Voies d'exposition	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	HABITANT MAJORANT	
			Dose d'exposition (CI ou DJE)	Excès de Risque Individuel (ERI)
Chrome VI	Inhalation	0.04	9.4E-06	3.7E-07
Nickel	Inhalation	0.00017	1.9E-05	3.3E-09
Cobalt	Inhalation	0.0077	2.6E-07	2.0E-09
Arsenic	Ingestion	1.5	8.3E-10	1.2E-09
Arsenic	Inhalation	0.00015	1.9E-06	2.9E-10
Plomb	Ingestion	0.0085	3.2E-08	2.7E-10
Plomb	Inhalation	0.000012	1.9E-05	2.2E-10
VALEUR REPERE				1.0E-05

Le Tableau 26 synthétise les Excès de Risque Individuel (ERI) calculés par substance pour l'ensemble des voies d'exposition (exposition agrégée).

Tableau 26 : exposition agrégée - excès de risque individuel calculés par substance

Substance	ERI	Valeur repère
Chrome VI	3.7E-07	1.0E-05
Nickel	3.3E-09	
Cobalt	2.0E-09	
Arsenic	1.5E-09	
Plomb	4.9E-10	

Les Excès de Risque Individuel calculés pour chaque traceur du risque sont tous très inférieurs à la valeur repère égale à 1.10^{-5} . Le chrome est la substance pour laquelle les ERI sont les plus élevés.

Les risques liés aux toxiques sans effets à seuil induits par les rejets en métaux de la torchère équipée du nouveau Vapotherm peuvent être jugés « non préoccupants » selon les critères d'acceptabilité.

6.3 INCERTITUDES

Ce chapitre a pour objectif d'inventorier les incertitudes liées à la démarche d'évaluation des risques sanitaires ou aux hypothèses retenues dans les différentes étapes.

Les incertitudes sont classées en fonction de l'influence qu'elles peuvent avoir sur les résultats d'évaluation des risques sanitaires, chaque fois que cette précision peut être apportée.

6.3.1 Incertitudes relatives à la modélisation atmosphérique

Les incertitudes liées à la modélisation de pollution de l'air ont été définies (Morgan M.G, 1990) comme étant le cumul, au prorata de leurs contributions, des incertitudes des différentes données nécessaires au fonctionnement du modèle et au modèle lui-même. Ces incertitudes peuvent être résumées par l'équation ci-dessous :

$$\boxed{\text{Incertitudes totales}} = \boxed{\text{Incertitudes dues au modèle}} + \boxed{\text{Incertitudes due aux données}} + \boxed{\text{Variabilité}}$$

Pour d'autres auteurs, elles ont pour origine trois sources majeures (Hanna, 2004) en ce qui concerne la modélisation de la qualité de l'air :

- La variabilité des résultats due aux fluctuations naturelles de la concentration dans l'atmosphère (turbulence aléatoire). Ce type d'incertitude sera présent dans n'importe quel modèle prenant en compte des phénomènes météorologiques ;
- Les erreurs sur les données d'entrées : émissions, données sur les instruments de mesures ou manque de représentativité des instruments de mesures par exemple ;
- Les erreurs dues à la représentation de la physique dans les modèles soit dues à des erreurs de formulation soit dues à des incertitudes dans les paramètres utilisés dans les formulations.

6.3.1.1 Incetitudes liées au modèle : validation du modèle ARIA Impact

Afin de déterminer les incertitudes sur le modèle ARIA Impact, diverses comparaisons avec des campagnes de mesures ont été effectuées :

- Etude RECORD (Perkins, 2005) concernant l'application de plusieurs modèles gaussiens sur deux campagnes de mesures internationales : la campagne « Prairy Grass », représentative d'un rejet au sol en milieu rural et la campagne « Indianapolis » relative à un rejet de cheminée en milieu urbain. Les résultats de cette étude sont disponibles à l'adresse web suivante http://www.record-net.org/record/synthPDF/Synth_record03-0805_2A.pdf. Les résultats de cette étude montrent qu'en milieu rural et pour un rejet au sol, ARIA Impact a tendance à sous-estimer légèrement (17%) les mesures avec un coefficient de corrélation aux mesures tout à fait acceptable. En milieu urbain, ARIA Impact a tendance à surestimer les concentrations (1%) mesurées avec un coefficient de corrélation moins performant (0.37) mais correspondant à la meilleure corrélation obtenue parmi des modèles testés ;
- Etude ARIA Technologies pour le SPPPI Dunkerque concernant l'application du modèle ARIA Impact à l'ensemble de la zone industrielle de Dunkerque pour les rejets de SO₂. Les comparaisons aux capteurs du réseau OPAL'AIR ont montré un ratio modèle/mesures pour la concentration de 0.95 en moyenne ;

- Etude AFSSA des retombées en dioxines et PCB à proximité de plusieurs incinérateurs français basée sur une comparaison des dépôts calculés par ARIA Impact avec une campagne de mesures terrain. Les résultats ont été estimés satisfaisants ;
- Comparaison des résultats de déposition obtenus par le modèle ARIA Impact autour d'une installation industrielle émettant du fluor en prenant en compte des rejets canalisés et surfaciques. Le ratio modèle/mesures obtenu est de 84%.

ARIA Impact a obtenu de bonnes performances dans le cadre de plusieurs campagnes de mesures in situ, ce qui est un gage de qualité.

6.3.1.2 Incertitudes liées aux données d'entrée

Les données d'entrées du modèle sont de trois natures :

- Les émissions ;
- La météorologie ;
- Les paramètres du modèle choisis.

6.3.1.2.1 Incertitudes liées aux émissions

La concentration calculée par le modèle à une échéance donnée est directement proportionnelle aux flux émis par l'installation pour chaque polluant. Les approximations faites au niveau des émissions ont donc un impact direct sur les concentrations et dépôts calculés.

6.3.1.2.2 Incertitudes liées aux mesures météorologiques

Les données météorologiques sont issues des mesures de Météo-France. La station choisie a été qualifiée comme étant la plus représentative du site.

L'incertitude la plus grande dans la fourniture des données de Météo-France est l'incertitude sur la direction du vent qui est de +/- 5°. Ce manque de précision sur la direction de vent peut avoir pour incidence la surestimation des concentrations dans les 36 directions « mesurées » et une sous-estimation dans les zones entre deux données de direction « mesurées ». Cette incertitude est compensée dans le modèle ARIA Impact par l'ajout à chaque échéance météorologique d'une direction additionnelle aléatoire comprise entre -5° et +5° afin de mieux simuler les directions réelles.

Les précisions des mesures de vent d'un dixième de m/s et celle de la température d'un dixième de degré Celsius sont largement suffisantes compte tenu de leur intervention dans les équations.

Les données de nébulosité sont exprimées en octas. Elles sont issues d'une observation « manuelle » d'un opérateur. En l'absence de données, le modèle ARIA Impact compense ces données invalides en basculant sur une méthode simplifiée dite « vent/jour/nuit » où la classe de stabilité est répartie entre les classes légèrement instable à stable en fonction de la vitesse du vent et du jour ou de la nuit.

6.3.1.3 Incertitudes liées aux paramètres du modèle

Dans les modèles complexes prenant en compte de façon fine les géométries et ayant des paramétrisations fines des phénomènes physiques, l'incertitude liée au choix par l'utilisateur des paramètres du modèle, c'est-à-dire des options de calcul mais également de la génération du maillage de calcul peut être grande. Des études ont montré qu'à données identiques, le même modèle mis en œuvre par deux équipes différentes pouvait conduire à des résultats présentant des écarts importants.

6.3.1.4 Incertitudes liées à la variabilité

Les phénomènes de turbulence de micro-échelle peuvent induire des fluctuations importantes des concentrations et des paramètres météorologiques. Le modèle ARIA Impact ne permet pas aujourd'hui de quantifier les fluctuations de concentrations autour de la concentration moyenne calculée. Ce type de calcul est possible avec des modèles plus sophistiqués.

6.3.2 Incertitudes relatives à l'évaluation des risques sanitaires

6.3.2.1 Facteurs de sous-estimation des risques

Facteurs pris en compte dans l'ERS

L'évaluation des risques sanitaires ne porte que sur les substances rejetées dans l'atmosphère par les installations retenues et considérées comme traceurs de risque dans cette étude.

Exposition par voie cutanée non considérée

Il n'existe pas de VTR spécifique à cette voie d'exposition. De plus, la transposition à partir des VTR pour les voies respiratoire et orale n'est pas recommandée (note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014). Cette sous-estimation n'a pas forcément d'impact sur les résultats d'évaluation des risques sanitaires, étant donné que l'absorption des polluants par voie cutanée est négligeable devant l'absorption par voies respiratoire et/ou digestive (surface d'échange plus importante et transferts facilités).

Exposition via l'ingestion d'eau

L'exposition via l'ingestion d'eau du robinet ou d'eau de baignade n'a pas été prise en compte dans l'étude. En effet, les transferts des composés dans les ressources en eau n'étant pas connus, le calcul des concentrations en composés dans le milieu hydrique n'a pu être établi. De plus, l'eau consommée à partir du robinet subit un traitement en usine d'eau potable qui lui confère une composition différente de celle de la ressource utilisée.

Bruits de fond

L'évaluation des risques sanitaires ne porte que sur l'impact du site et ne tient pas compte du bruit de fond dans le calcul des risques sanitaires.

6.3.2.2 Facteurs de surestimation des risques

La méthodologie pour estimer les risques sanitaires potentiels emploie, par nature, les principes de précaution et est par défaut conservatrice.

Estimation des émissions

Les émissions ont été quantifiées en prenant systématiquement des hypothèses majorantes.

Durée d'exposition

En l'absence de données sur le temps passé par les populations sur le domaine d'étude et en dehors du domaine d'étude, et en l'absence aussi de données sur les concentrations d'exposition des personnes pendant le temps passé en dehors du domaine d'étude, il est posé l'hypothèse majorante que les populations séjournent 24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an sur le domaine d'étude. Cette hypothèse est majorante et ne tient pas compte des diverses causes d'absence du domicile, notamment pour des raisons personnelles (vacances, loisirs, etc.) ou professionnelles.

Pénétration des polluants dans les habitats

Il est posé l'hypothèse que les polluants ont un taux de pénétration dans les habitats de 100 %, ce qui est une hypothèse majorante.

6.3.2.3 Facteurs dont le sens d'influence sur les résultats n'est pas connu ou est variable

Constance des paramètres

Toutes les données utilisées (émissions, dispersion, transferts, exposition) sont supposées rester constantes pendant les années d'exposition futures étudiées.

Interactions des polluants

En absence de connaissances scientifiques suffisantes sur les interactions des polluants les uns par rapport aux autres et des conditions d'interactions en eux, il a été considéré que les polluants qui avaient la même cible organique et le même mécanisme d'action cumulaient leurs risques. En réalité, les polluants peuvent également avoir des effets antagonistes (dans ce cas nous aurions majoré les risques) ou synergiques (dans ce cas nous aurions minimisé les risques).

7. SYNTHÈSE

Dans le cadre d'une demande de la DREAL, Suez RV Sud-Ouest a chargé ARIA Technologies de réaliser une étude des risques sanitaires liés aux émissions de métaux de la torchère équipée du nouveau VapoTherm sur l'ISDND de Bellac (87).

L'évaluation est menée en application à la circulaire GGPR & DGS du 9 août 2013 et conformément au guide « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013 et sa deuxième édition de septembre 2021.

Les émissions atmosphériques en métaux proviennent des rejets issus de la torchère avec VapoTherm. Les voies d'exposition retenues sont donc :

- l'inhalation,
- l'ingestion :
 - de sol,
 - de viande, volailles, œufs, lait, produits laitiers,
 - de fruits et légumes.

Evaluation des Risques Sanitaires

L'évaluation de l'exposition humaine est réalisée pour un scénario Habitant « Majorant » : exposition 100 % du temps dans la zone habitée la plus exposée pendant 70 ans.

Le tableau suivant synthétise les risques sanitaires estimés :

	Scénario Habitant Majorant	Valeur repère
Risques à seuil	QDmax = $2,6 \cdot 10^{-3}$ Pour le cobalt	1
Risques sans seuil	ERImax = $3,7 \cdot 10^{-7}$ Pour le chrome	$1 \cdot 10^{-5}$

Les risques sanitaires calculés pour les substances à seuil d'effet et pour les substances sans seuil d'effet (effets cancérogènes généralement) restent très inférieurs aux valeurs repères.

Compte-tenu des hypothèses majorantes retenues, les risques sanitaires liés aux émissions en métaux de la torchère équipée du nouveau VapoTherm de l'ISDND sont jugés non préoccupants en l'état actuel des connaissances, selon les critères d'acceptabilité.

ANNEXES

Annexe 1 : Description du modèle numérique ARIA Impact

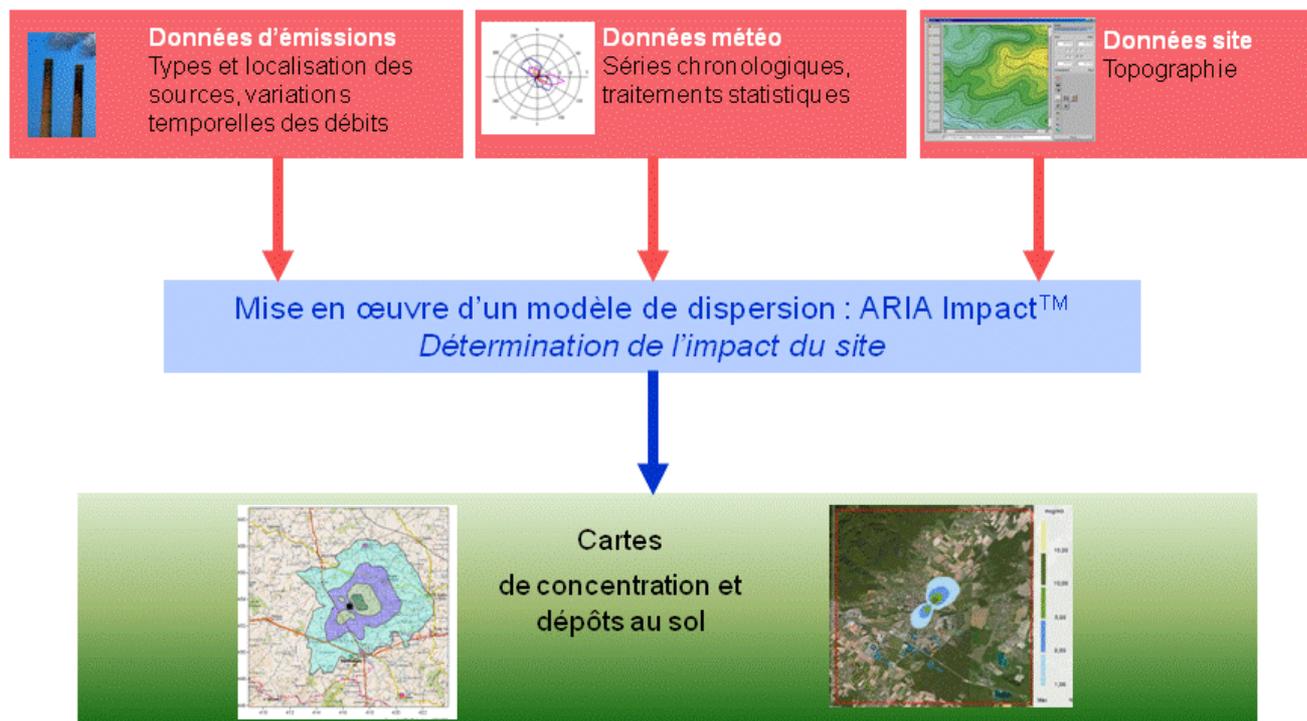
Présentation générale

ARIA Impact™ est un modèle de type "gaussien", conforme aux recommandations de l'E.P.A.¹³. ARIA Impact **répond également aux prescriptions de l'INERIS** pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du Guide méthodologique INERIS : Evaluation des Risques Sanitaires liés aux substances chimiques dans l'Etude d'Impact des ICPE). C'est un logiciel de modélisation de la pollution atmosphérique qui permet de répondre à l'ensemble des éléments demandés par la législation française sur la qualité de l'air et européenne, et de fournir les éléments indispensables à :

- l'évaluation des risques sanitaires d'une installation industrielle (moyenne annuelle, centiles, dépôts),
- l'évaluation de l'impact olfactif (concentration d'odeurs, fréquences de dépassement de seuil),
- l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air d'un aménagement routier (moyenne annuelle, centiles).

ARIA Impact™ permet d'étudier **l'impact à long terme** d'une installation en reconstruisant l'impact statistique des émissions à partir d'une chronique météorologique réelle de plusieurs années. Cette approche donne, sur de longues périodes, des résultats cohérents avec les observations des réseaux de la surveillance de la qualité de l'air pour des distances supérieures à 100 mètres.

Le schéma ci-dessous présente la démarche qui est mise en œuvre dans les études d'impact :



¹³ Agence de l'environnement américain (Environment Protection Agency).

Fonctionnalités techniques

Logiciel multi-espèces et multi-sources

ARIA Impact™ permet de modéliser la dispersion de :

- de **polluants gazeux** (NO_x, SO₂...) : dispersion passive pure sans vitesse de chute ;
- de **polluants particulaires** (PM10, métaux lourds, dioxines...) : dispersion passive et prise en compte des effets gravitaires en fonction de la granulométrie. Les poussières sont représentées sur un nombre arbitraire de classes de taille : si la granulométrie des émissions est connue, des calculs détaillés peuvent être effectués.
- des **odeurs** : mélange de molécules odorantes dont la composition est inconnue, exprimée en unité d'odeur ;
- de **polluants radioactifs**.

Plusieurs types de sources et de polluants peuvent être pris en compte en même temps dans une même modélisation :

- Des **sources ponctuelles** industrielles (incinérateur, centrale thermique...),
- Des **sources diffuses** ou volumiques (atelier de peinture, carrières...),
- Des **sources linéiques** (trafic automobile).

Choix de la météorologie adaptée à la complexité de l'étude

Plusieurs types de modélisation sont possibles avec le logiciel ARIA Impact™ :

- **Modélisation pour une situation particulière** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques pour une situation météorologique fixée par l'utilisateur (modélisation pour une vitesse de vent et une direction de vent données). Ce mode de calcul peut être utilisé par exemple pour étudier un cas de dysfonctionnement associé à une situation météorologique défavorable, une phase de démarrage, ou encore pour comparer des scénarios d'émissions entre eux.
- **Modélisation statistique depuis une rose des vents** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en prenant en compte les fréquences d'occurrence d'une rose des vents général. Il est alors possible de calculer des moyennes annuelles, le centile 100 ou des fréquences de dépassement de seuil. Ce mode de calcul est bien adapté pour les polluants gazeux et si la marche de production et d'émissions est constante sur l'année.
- **Modélisation statistique à partir d'une base météorologique complète** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en prenant en compte une base complète de données météorologiques. Dans ce cas, un calcul académique est réalisé pour chaque échéance météorologique de la base de données. Il est alors possible de calculer des moyennes annuelles, des centiles (98, 99,5 etc...) ou des fréquences de dépassement de seuil. Les statistiques sont donc réalisées à partir de la modélisation de chaque séquence météorologique horaire sur plusieurs années (8 760 situations météo sur une année) ce qui permet de bien tenir compte des variations diurnes et saisonnières des concentrations.

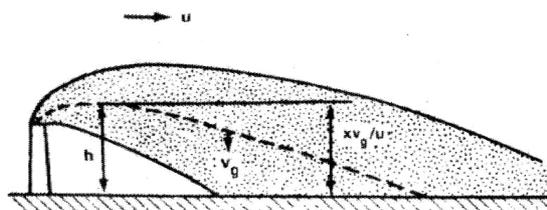
Variation temporelle des émissions

ARIA Impact™ permet de prendre en compte les variations temporelles des émissions. Les émissions peuvent varier en fonction de l'heure, du jour et du mois de l'année.

Il est également possible d'intégrer des périodes de fonctionnement particulières (arrêt technique, panne de fonctionnement du système de traitement des gaz...).

Dépôts au sol

ARIA Impact™ peut prendre en compte la chute de particules par effet gravitaire. Dans ce cas, la vitesse de chute est automatiquement calculée en fonction de la granulométrie et de la densité des particules, faisant varier l'axe d'inclinaison du panache. De plus, la vitesse de dépôt sec définie dans les caractéristiques des espèces permet de calculer les **dépôts secs**.



ARIA Impact™ permet également de prendre en compte le lessivage du panache par la pluie. Cette fonction permet de calculer les **dépôts humides** en plus des dépôts secs.

Dispersion par vents calmes

La prise en compte des vents calmes dans les calculs de dispersion implique l'utilisation d'un modèle plus performant (modèle 3D à bouffées gaussiennes). ARIA Impact™ intègre en standard un algorithme spécifique permettant de calculer l'impact des sources dans le cas de vents calmes, contrairement aux modèles gaussiens classiques.

Un vent est considéré calme lorsque la vitesse du vent est inférieure à 1 m/s.

Reconstitution de profils verticaux météorologiques

Dans le cas de cheminée, la surélévation du panache est calculée entre autres à partir de la vitesse du vent et de la température de l'air. Ces valeurs sont fournies dans la base de données météorologique. Cependant, ces données correspondent la plupart du temps à des mesures de station sol, c'est-à-dire qu'elles sont mesurées à environ 10 mètres du sol. Pourtant, les valeurs de vitesse de vent et de température observées au sommet de la cheminée peuvent varier de manière importante suivant la hauteur de celle-ci : par exemple, plus la cheminée est haute, plus la vitesse du vent est élevée au niveau du débouché.

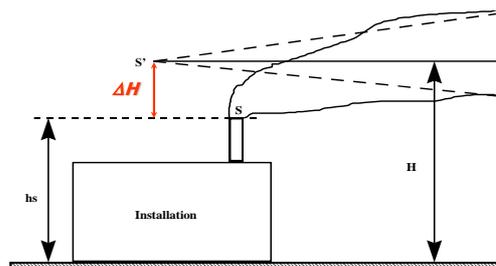
Afin de prendre en compte cette variation de vitesse de vent dans les calculs de la dispersion des polluants atmosphériques, le logiciel ARIA Impact™ peut calculer des profils verticaux de vent en fonction des mesures de vent au sol, de la turbulence atmosphérique et de l'occupation des sols, afin de connaître la vitesse du vent au niveau du débouché de la cheminée.

Prise en compte de la couche de mélange

ARIA Impact™ peut calculer la hauteur de couche de mélange à partir des données météorologiques horaires disponibles. Cette hauteur de mélange est alors prise en compte dans le calcul de dispersion par réflexion des panaches sur la couche de mélange.

Surélévation de panache issu de cheminée

Dans le cas de cheminée, lorsque les rejets sont chauds ou que la vitesse d'éjection des fumées est importante, on peut prendre en compte une surélévation du panache. En effet, les fumées de combustion vont s'élever au-dessus de la cheminée jusqu'à ce que leur vitesse ascensionnelle initiale et les effets de différence de densité (dus à la différence de température air/fumées) ne soient plus significatifs. Tout se passe comme si l'émission des rejets se faisait à une hauteur réelle d'émission (hauteur de la cheminée) augmentée de la surhauteur due aux conditions d'éjection. ARIA Impact™ prend en compte les effets de la surélévation des fumées de cheminée. Plusieurs formulations permettant de calculer la surélévation des fumées sont codées dans ARIA Impact afin d'adapter la formule la plus adéquate au cas d'étude (Formule de Holland, Formule de Briggs, Formule de Concawe...).



Conversion des NOx en NO et NO₂

Dans le cas de la modélisation des émissions liées au trafic automobile, ARIA Impact™ contient un algorithme simple permettant de calculer les concentrations en NO et NO₂ à partir des concentrations en NOx, à l'aide de la formule de conversion de Middleton.

Prise en compte simplifiée de la topographie

ARIA Impact™ permet de prendre en compte de manière simplifiée les topographies peu marquées. Un algorithme simple permettant de prendre en compte le relief, sans faire appel à des calculs de vents tridimensionnels, peut être activé dans le module de calcul. Cet algorithme permet de rapprocher du relief l'axe du panache pour des atmosphères stables.

Envois de poussières

ARIA Impact™ contient un module spécifique pour le calcul des envolées de poussières fines, dans le cas d'un **stockage de poussières exposé au vent**.

Cette option permet d'estimer la quantité de poussières émises par une source surfacique en fonction de la rafale de vent, puis de modéliser la dispersion de ces poussières. Il peut s'agir par exemple d'un tas de charbon dont, par vent fort, les poussières fines vont s'envoler. Le calcul de la quantité émise de poussières passe par l'estimation du potentiel d'érosion du stockage, puis des facteurs d'émission fonction de la rafale de vent.

Résultats

Grandeurs calculées

ARIA Impact™ permet de calculer les grandeurs suivantes :

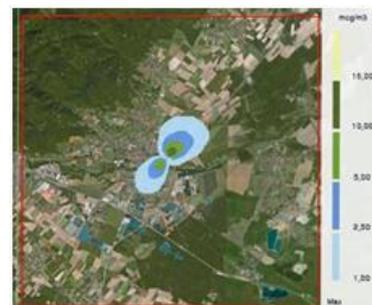
- **moyennes mensuelles et/ou annuelles** de polluant autour du site, en concentrations et dépôts au sol,
- **fréquences de dépassement de seuils** en moyennes journalières ou horaires (normes françaises et européennes),
- **centiles 98, 99.8, 100** ou autres valeurs de centiles sur une base de calcul prédéfinie (horaire, journalière, 8 heures...).

Les résultats de concentrations peuvent être exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ng/m^3 , pg/m^3 ou fg/m^3 pour les polluants classiques, en uo/m^3 pour les odeurs et en Bq/m^3 pour les polluants radioactifs.

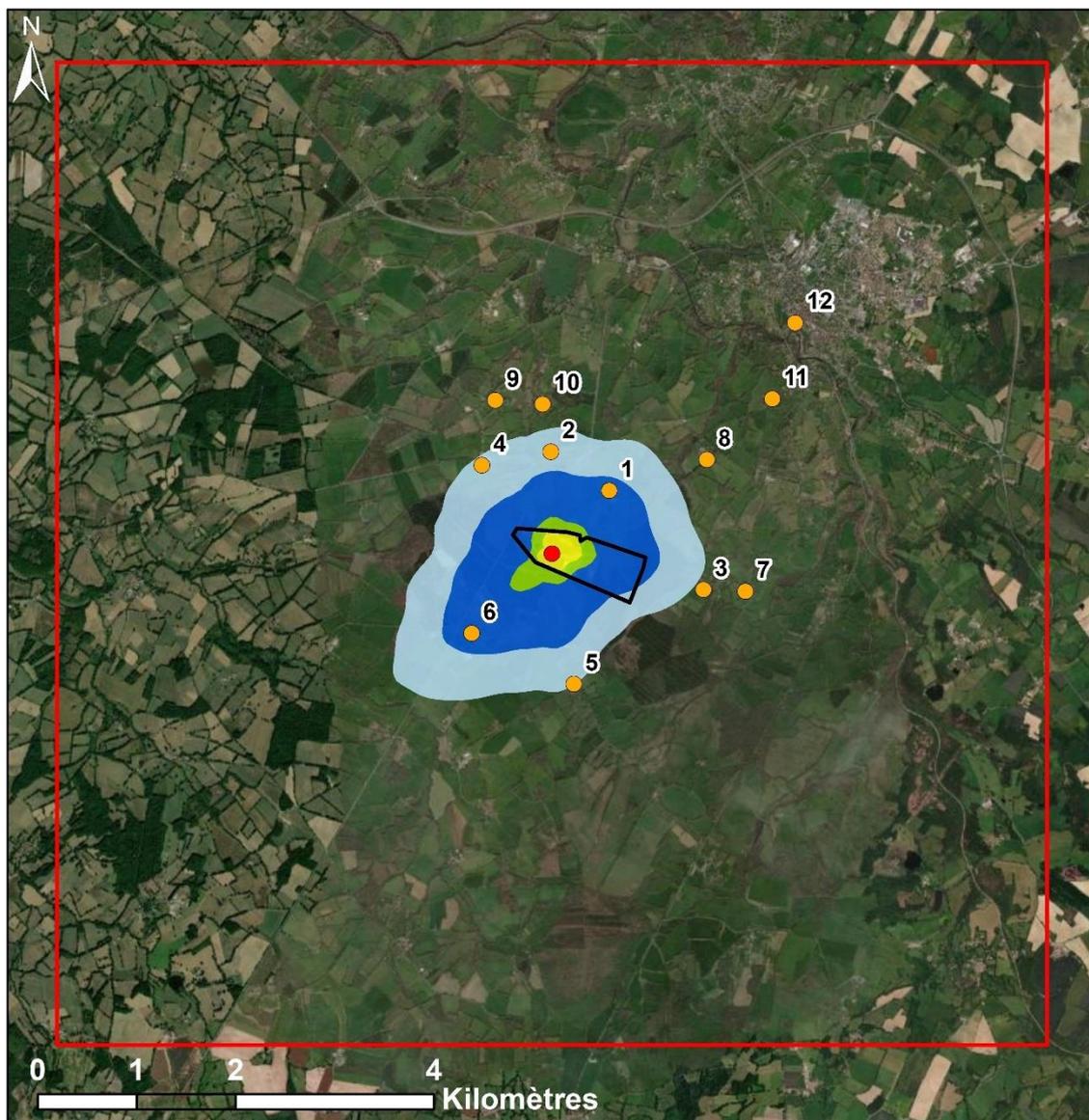
Cartographies

Les résultats obtenus avec ARIA Impact™ peuvent être présentés sous forme cartographique au format image, mais aussi en des formats numériques **compatibles** avec la plupart des **Systèmes d'Informations Géographiques** tels que Mapinfo, ArcView ou SURFER.

Un export des résultats vers **Google Earth** permet également de visualiser les résultats sur une photo aérienne directement avec le logiciel Google Earth.



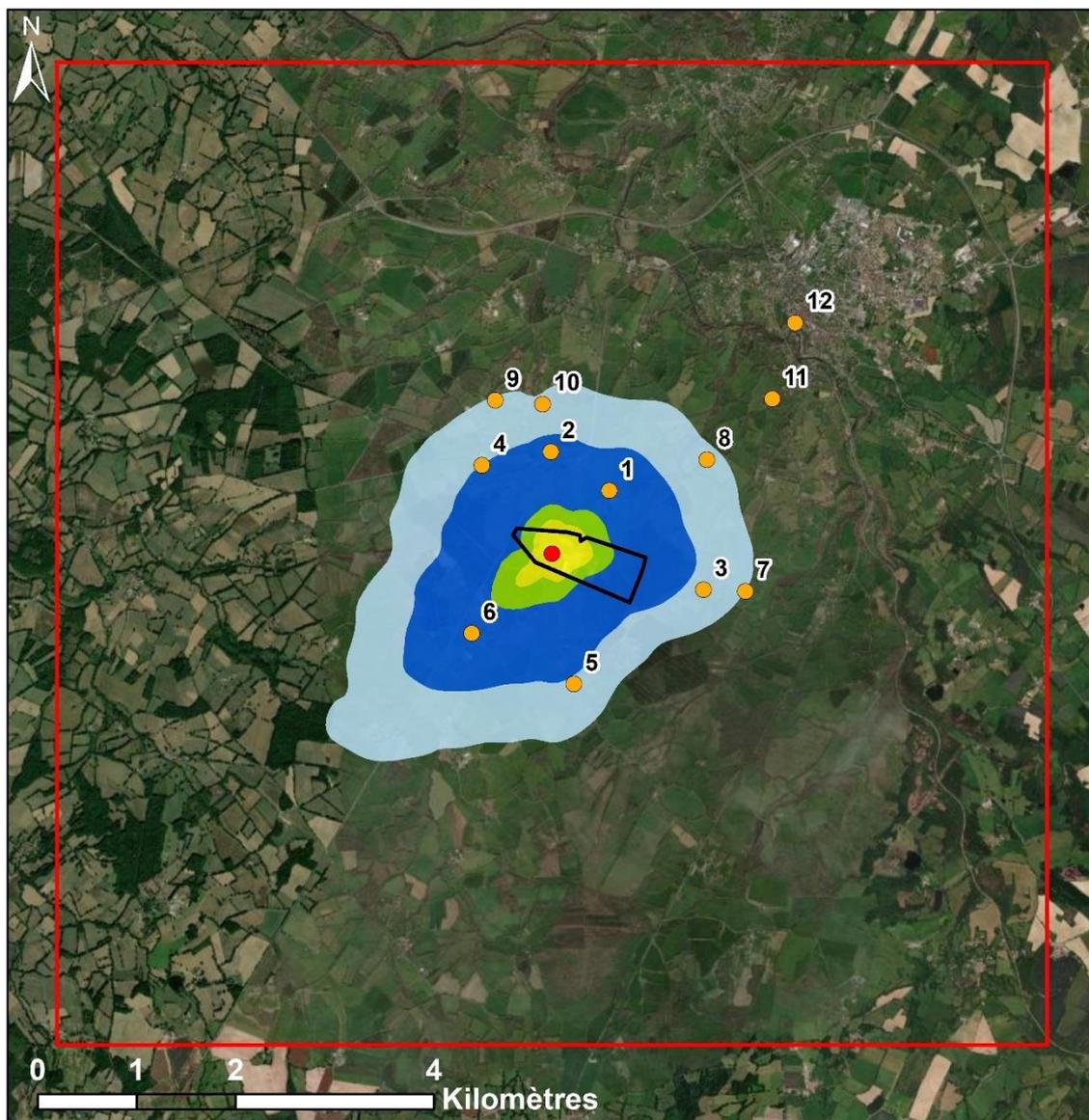
Annexe 2 : Cartes de concentrations moyennes annuelles



Légende

	Domaine d'étude	Concentration moyenne annuelle en Cd (ng/m3)
	Site	 < 0.0005
	Torchère	 0.0005 - 0.001
	Points cibles	 0.001 - 0.005
		 0.005 - 0.01
		 > 0.01

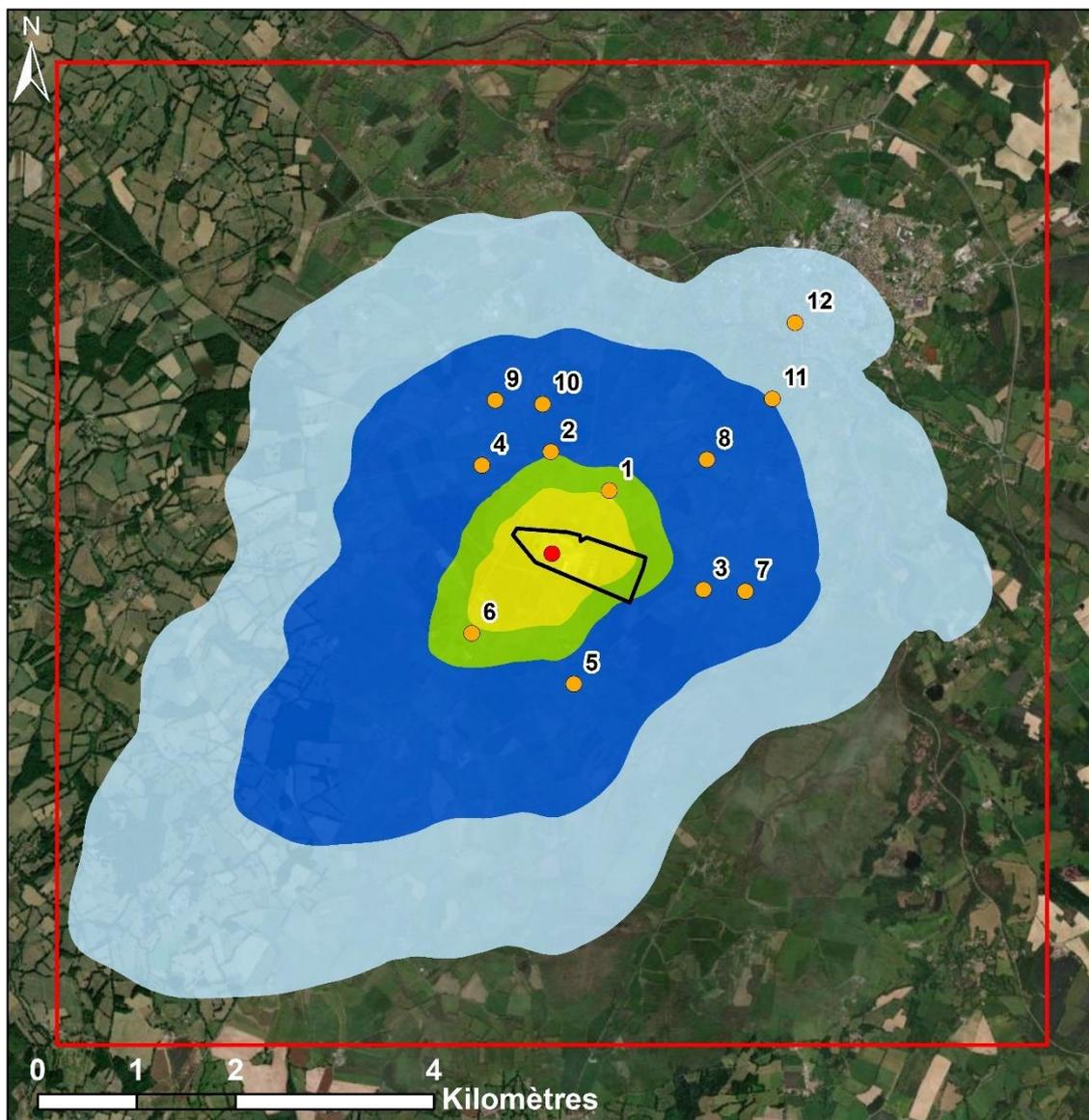




Légende

	Domaine d'étude	Concentration moyenne annuelle en Co (ng/m3)
	Site	 < 5E-05
	Torchère	 5E-05 - 1E-04
	Points cibles	 1E-04 - 5E-04
		 5E-04 - 1E-03
		 > 1E-03

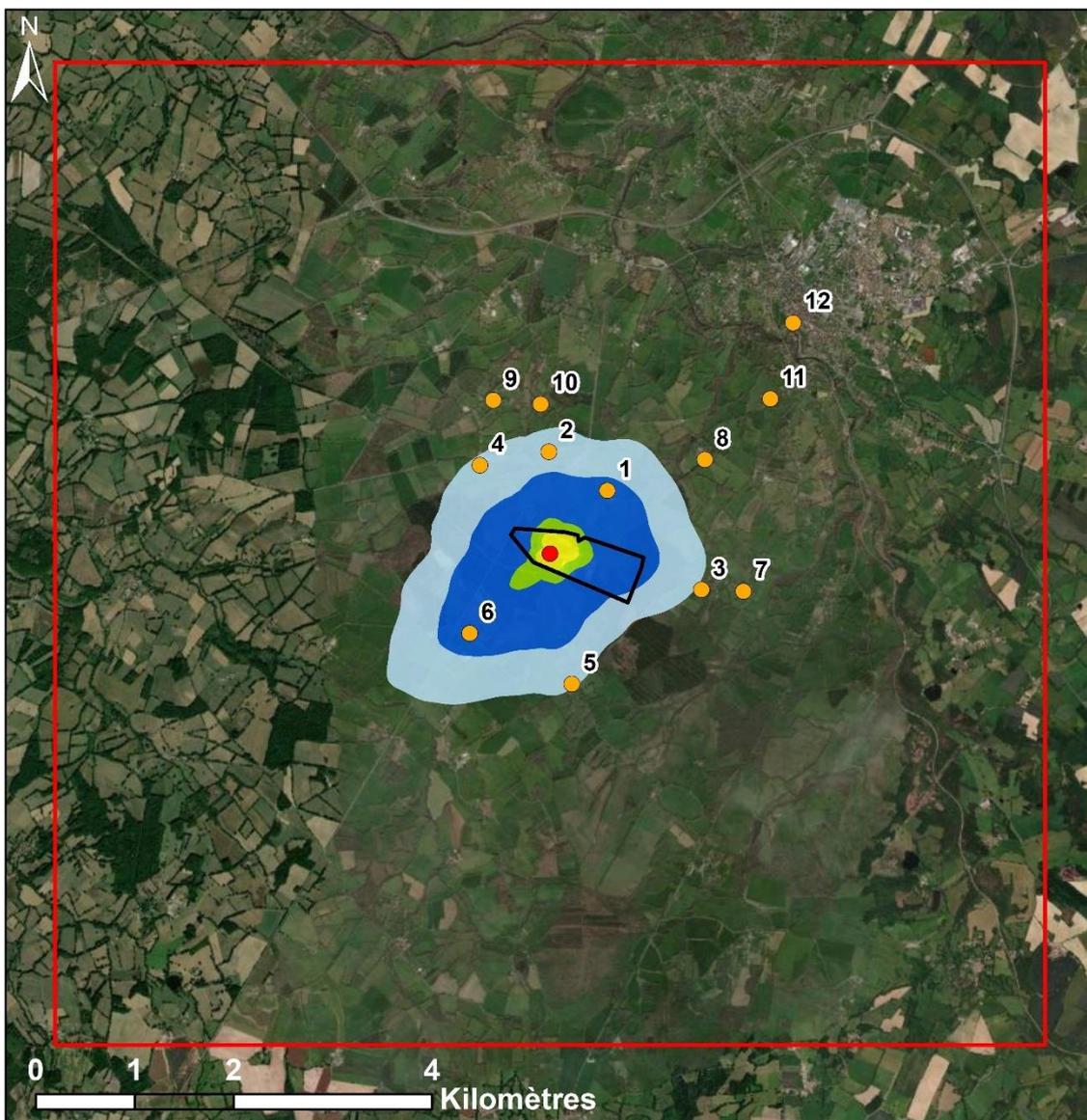




Légende

	Domaine d'étude	Concentration moyenne annuelle en Cr (ng/m3)
	Site	 < 0.0005
	Torchère	 0.0005 - 0.001
	Points cibles	 0.001 - 0.005
		 0.005 - 0.01
		 > 0.01

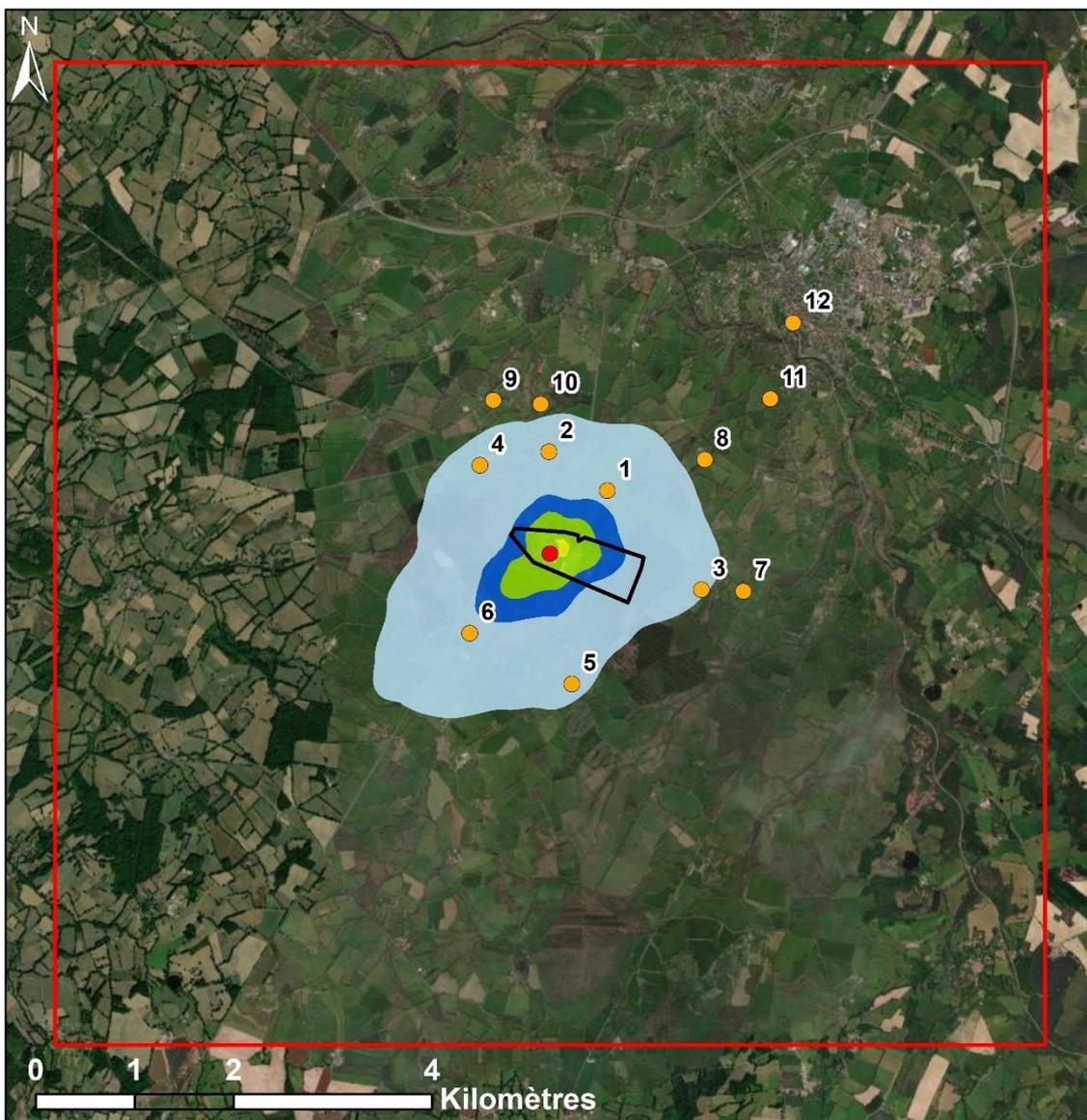




Légende

	Domaine d'étude	Concentration moyenne annuelle en Hg (ng/m3)
	Site	 < 0.0005
	Torchère	 0.0005 - 0.001
	Points cibles	 0.001 - 0.005
		 0.005 - 0.01
		 > 0.01

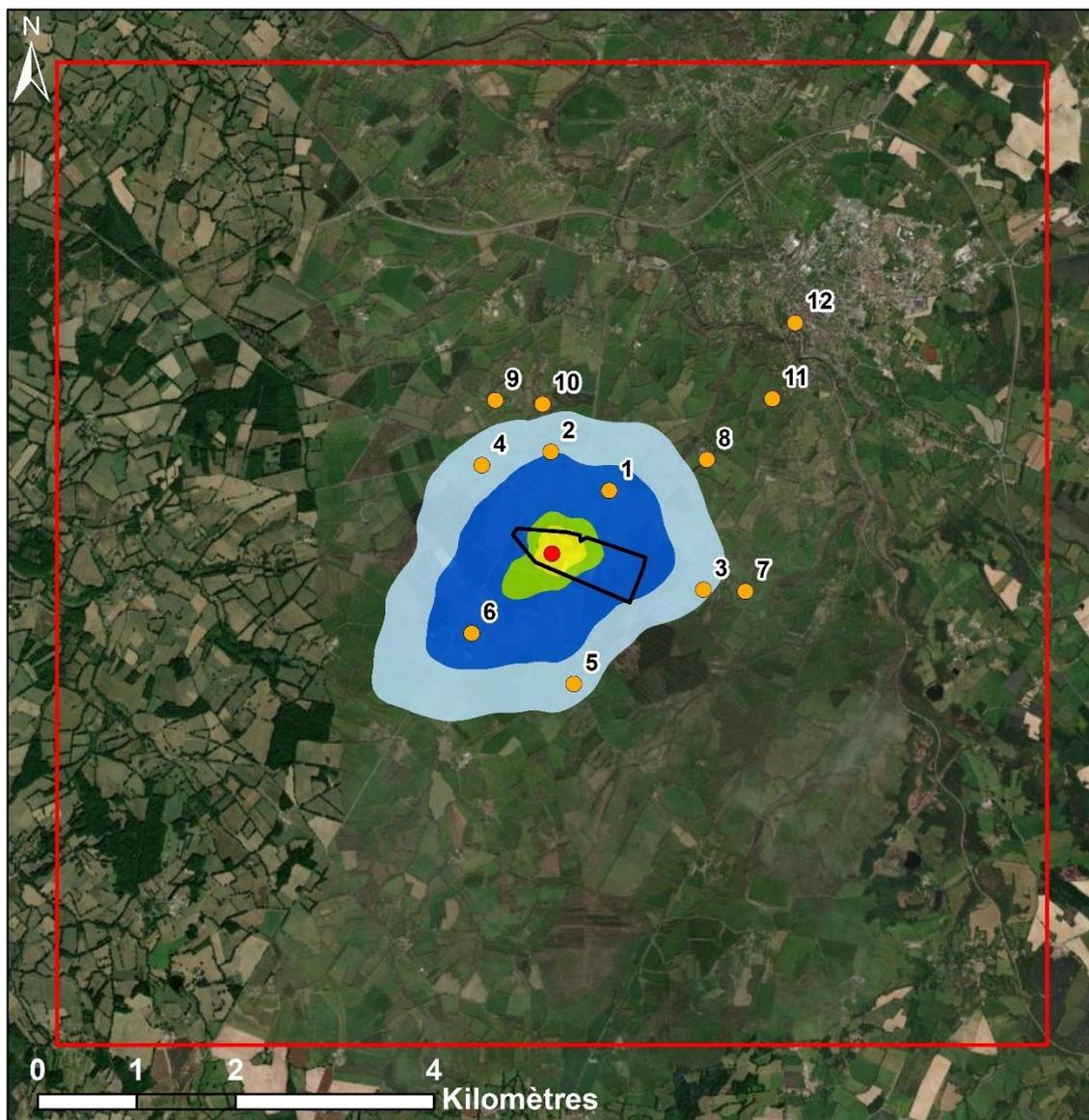




Légende

	Domaine d'étude	Concentration moyenne annuelle en Mn (ng/m3)
	Site	 < 0.01
	Torchère	 0.01 - 0.05
	Points cibles	 0.05 - 0.1
		 0.1 - 0.5
		 > 0.5

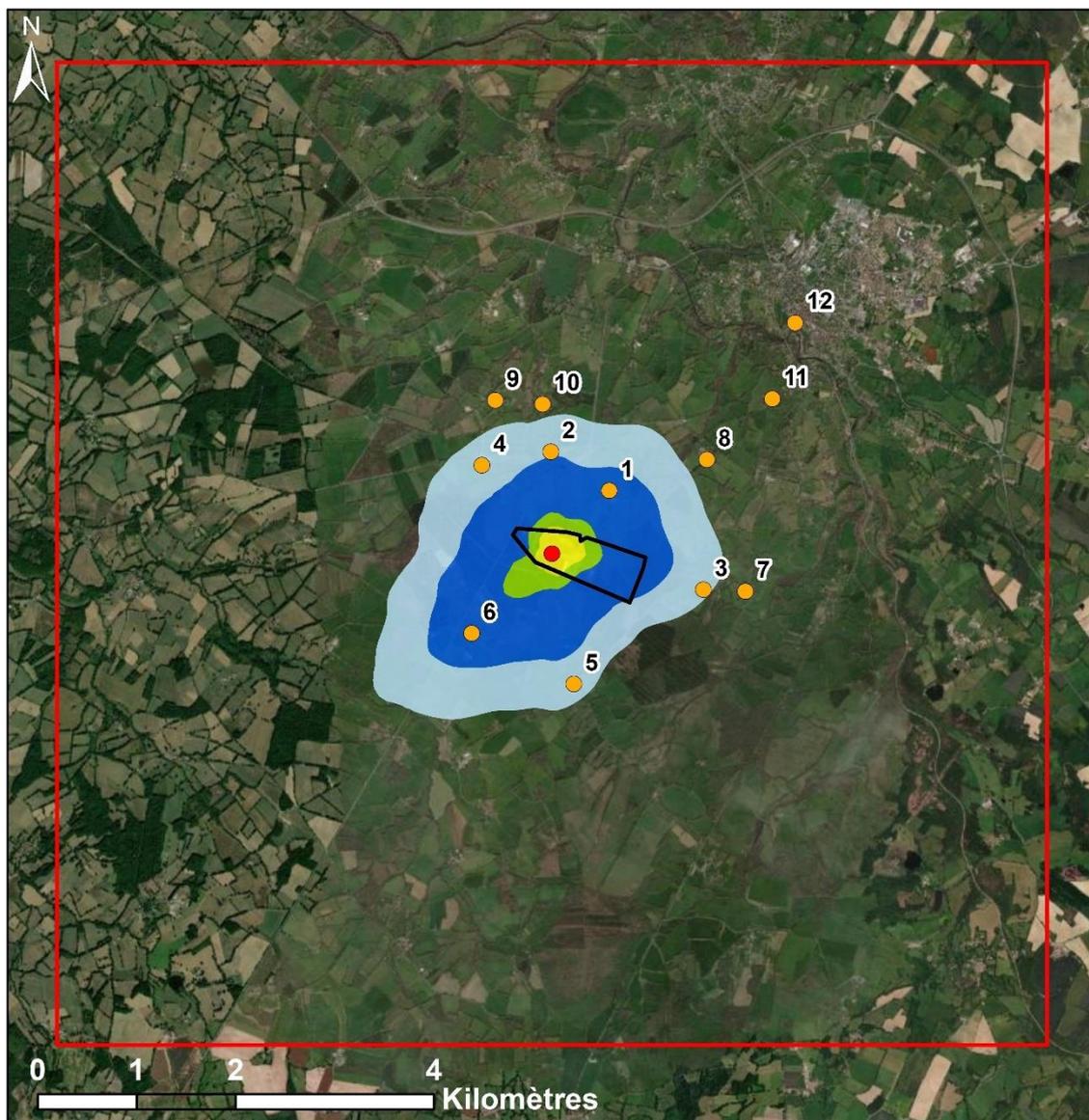




Légende

	Domaine d'étude	Concentration moyenne annuelle en Ni (ng/m3)
	Site	 < 0.005
	Torchère	 0.005 - 0.01
	Points cibles	 0.01 - 0.05
		 0.05 - 0.1
		 > 0.1



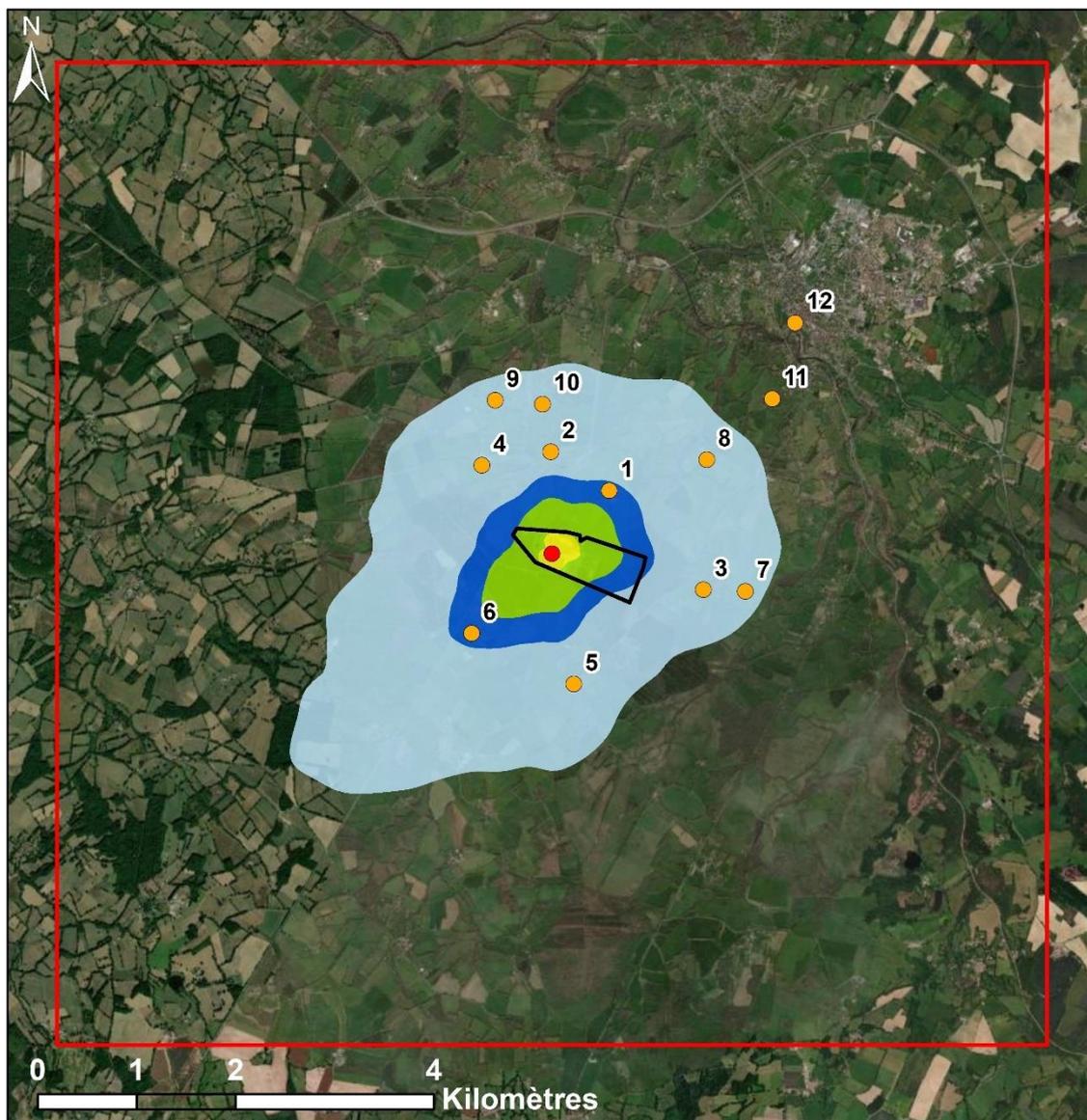


Légende

	Domaine d'étude	Concentration moyenne annuelle en Pb (ng/m3)
	Site	 < 0.005
	Torchère	 0.005 - 0.01
	Points cibles	 0.01 - 0.05
		 0.05 - 0.1
		 > 0.1



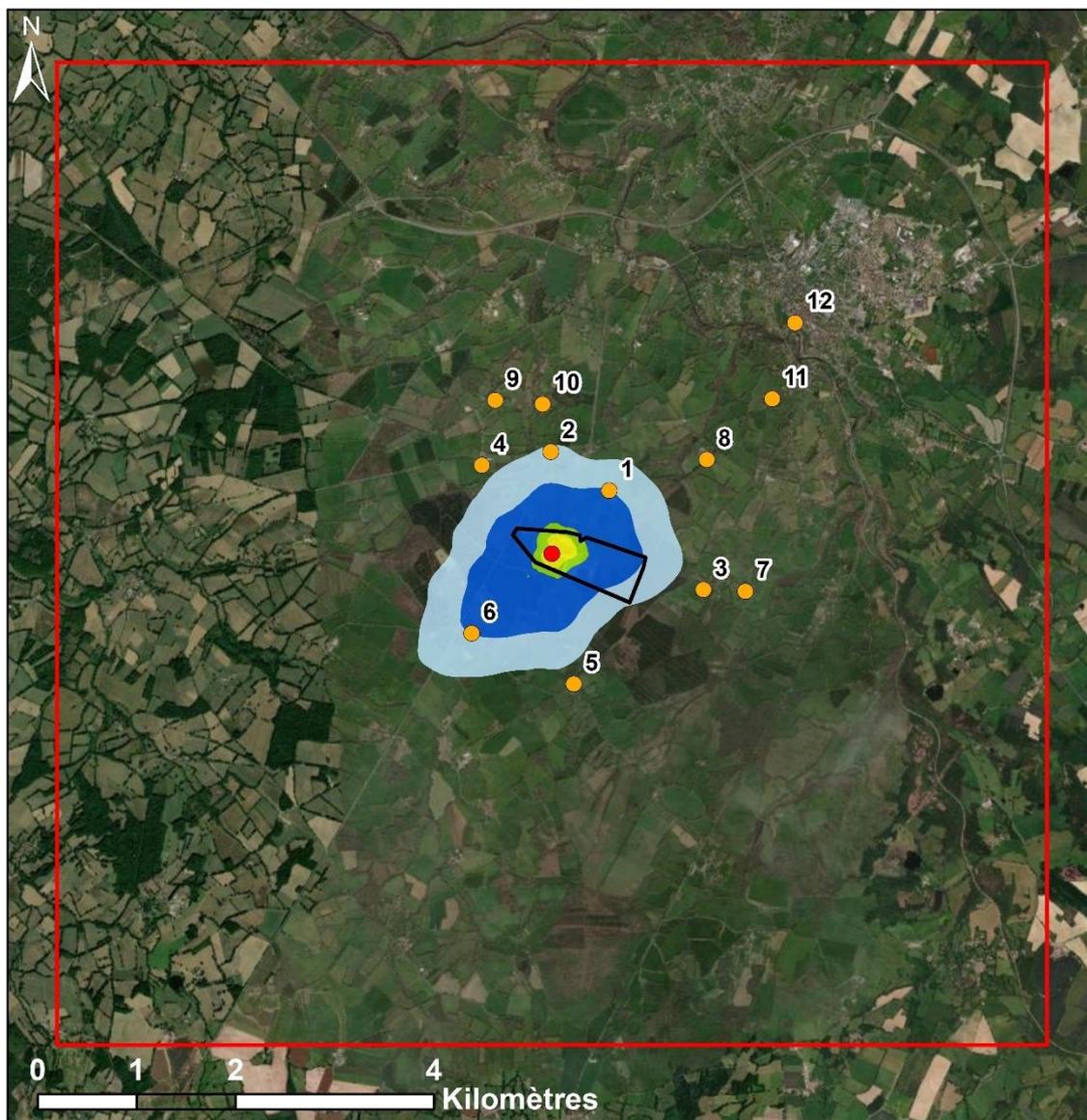
Annexe 3 : Cartes de dépôts au sol moyens annuels



Légende

	Domaine d'étude	Dépôts au sol moyens annuels en Cd (ng/m²/s)
	Site	 < 1E-06
	Torchère	 1E-06 - 5E-06
	Points cibles	 5E-06 - 1E-05
		 1E-05 - 5E-05
		 > 5E-05

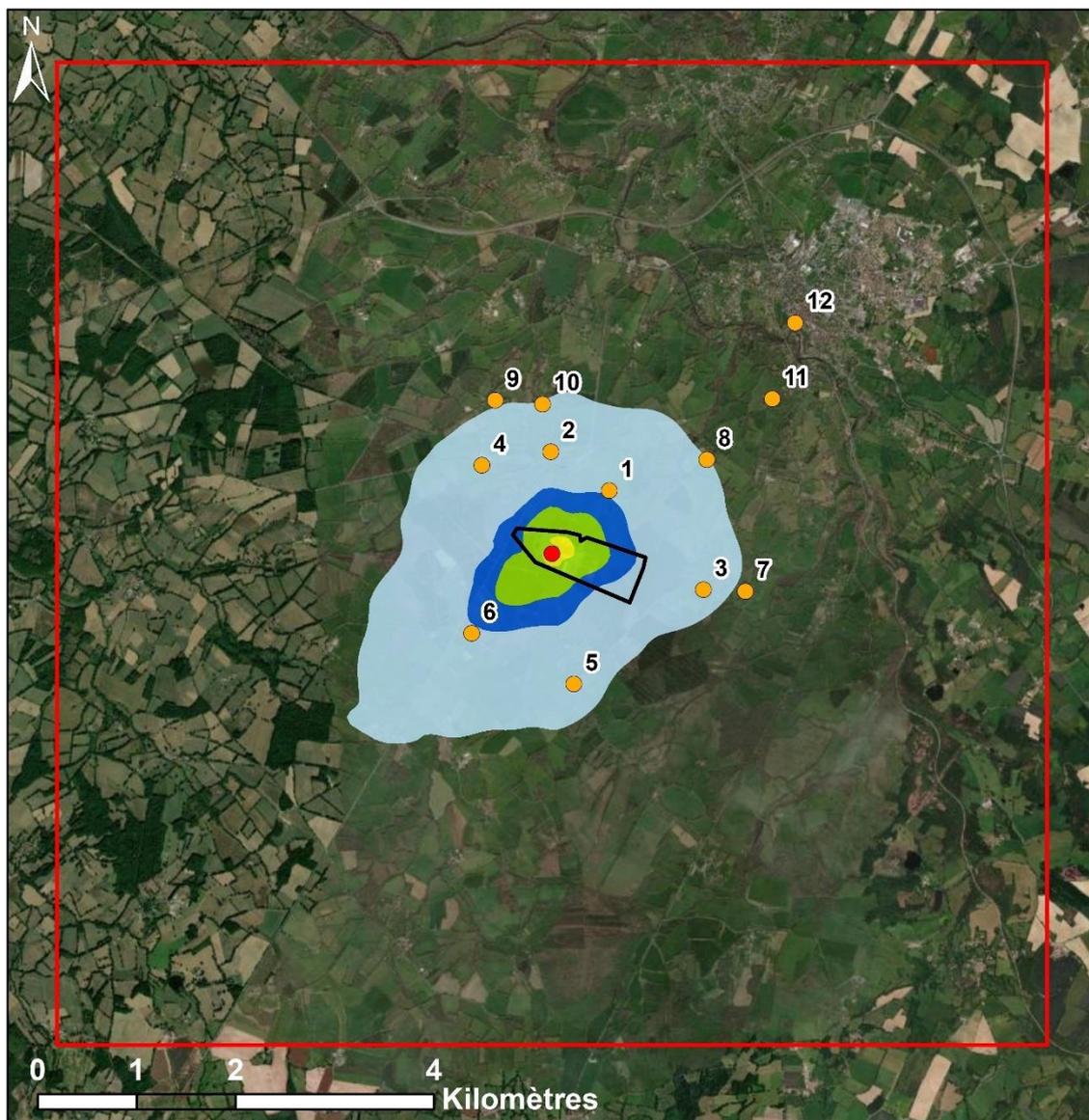




Légende

	Domaine d'étude	Dépôts au sol moyens annuels en Co (ng/m²/s)
	Site	 < 5E-07
	Torchère	 5E-07 - 1E-06
	Points cibles	 1E-06 - 5E-06
		 5E-06 - 1E-05
		 > 1E-05

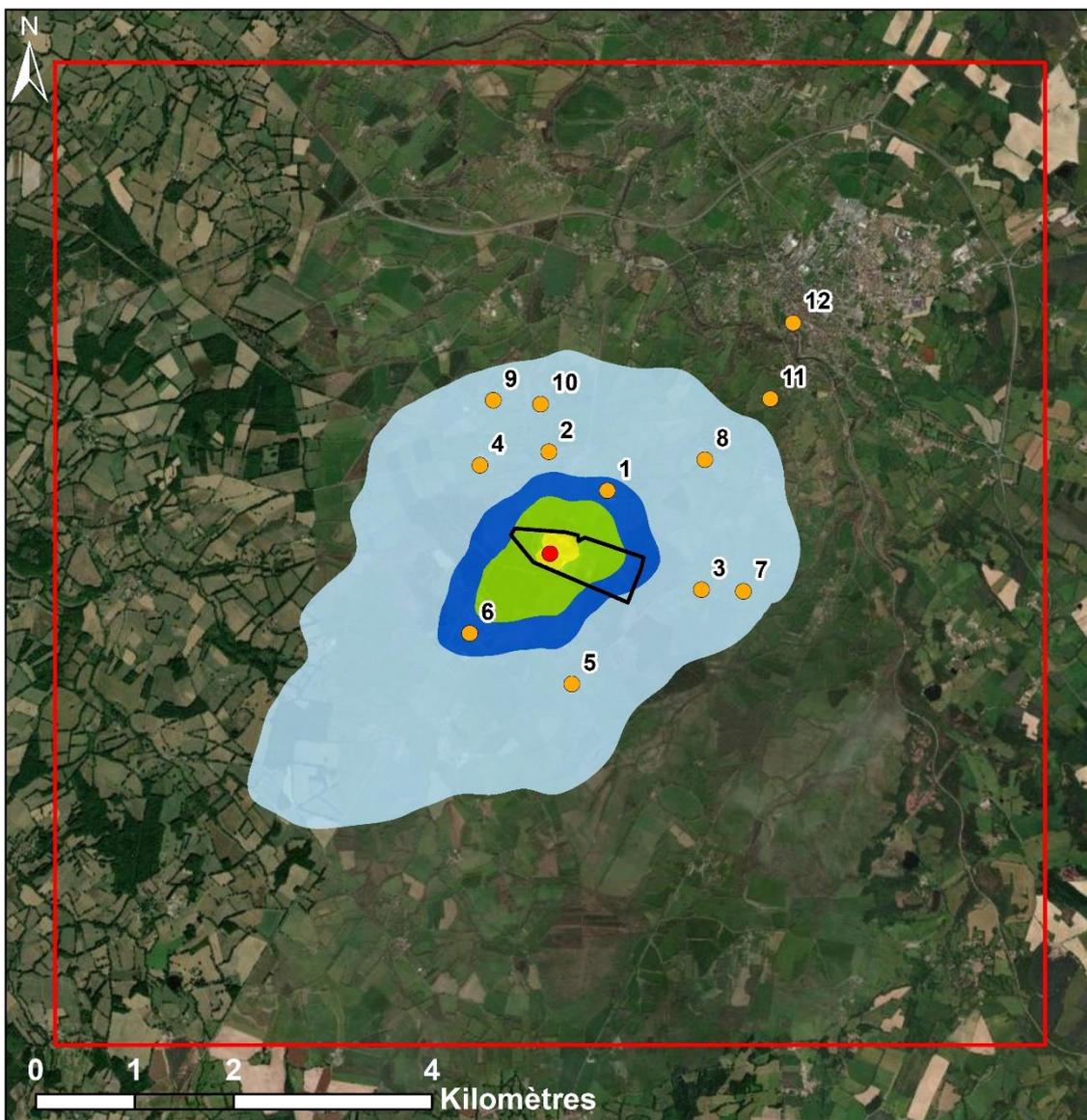




Légende

Domaine d'étude	Dépôts au sol moyens annuels en Cr (ng/m²/s)
Site	< 1E-05
Torchère	1E-05 - 5E-05
Points cibles	5E-05 - 1E-04
	1E-04 - 5E-04
	> 5E-04

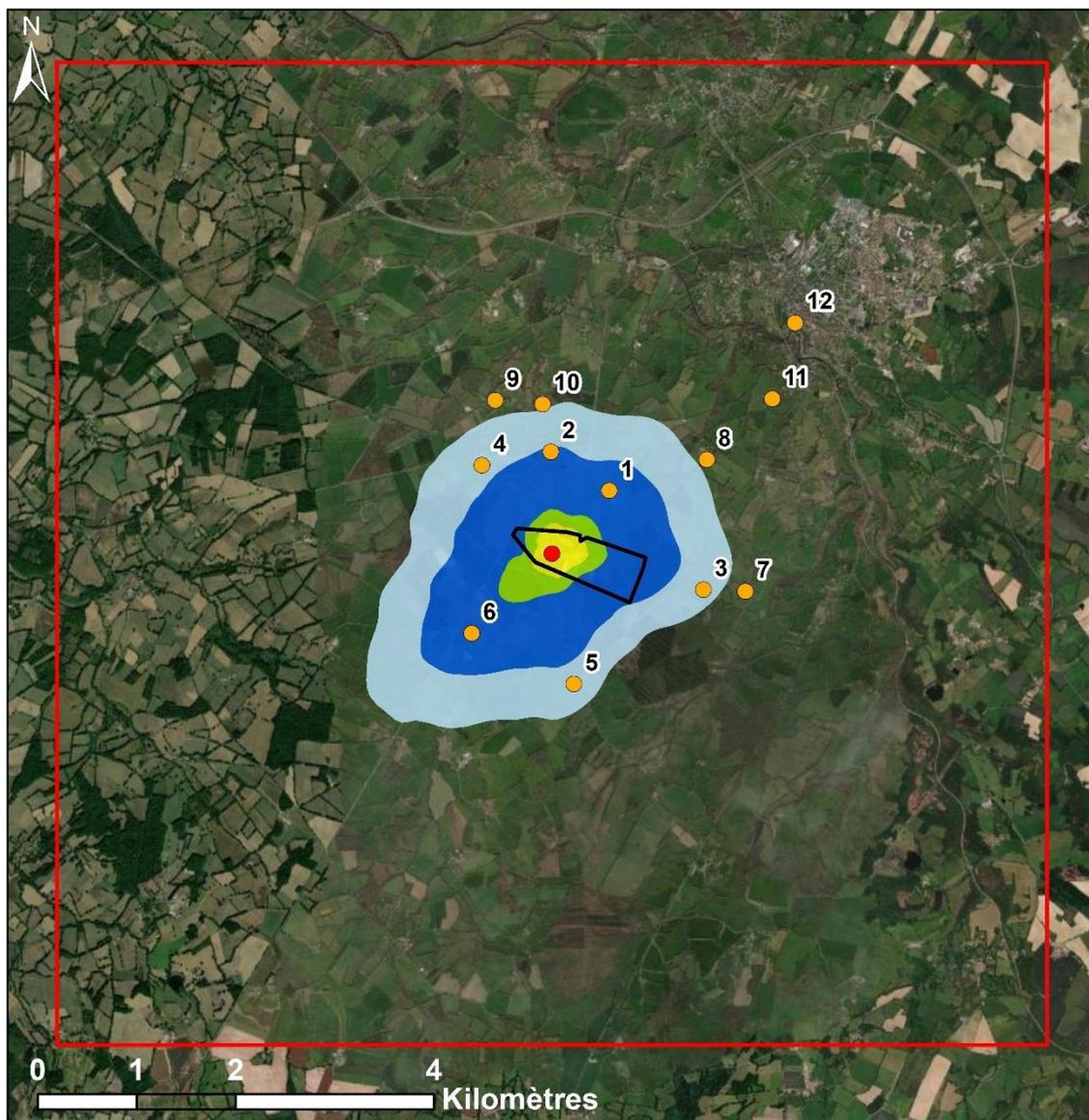




Légende

	Domaine d'étude	Dépôts au sol moyens annuels en Hg (ng/m²/s)
	Site	 < 1E-07
	Torchère	 1E-07 - 5E-07
	Points cibles	 5E-07 - 1E-06
		 1E-06 - 5E-06
		 > 5E-06

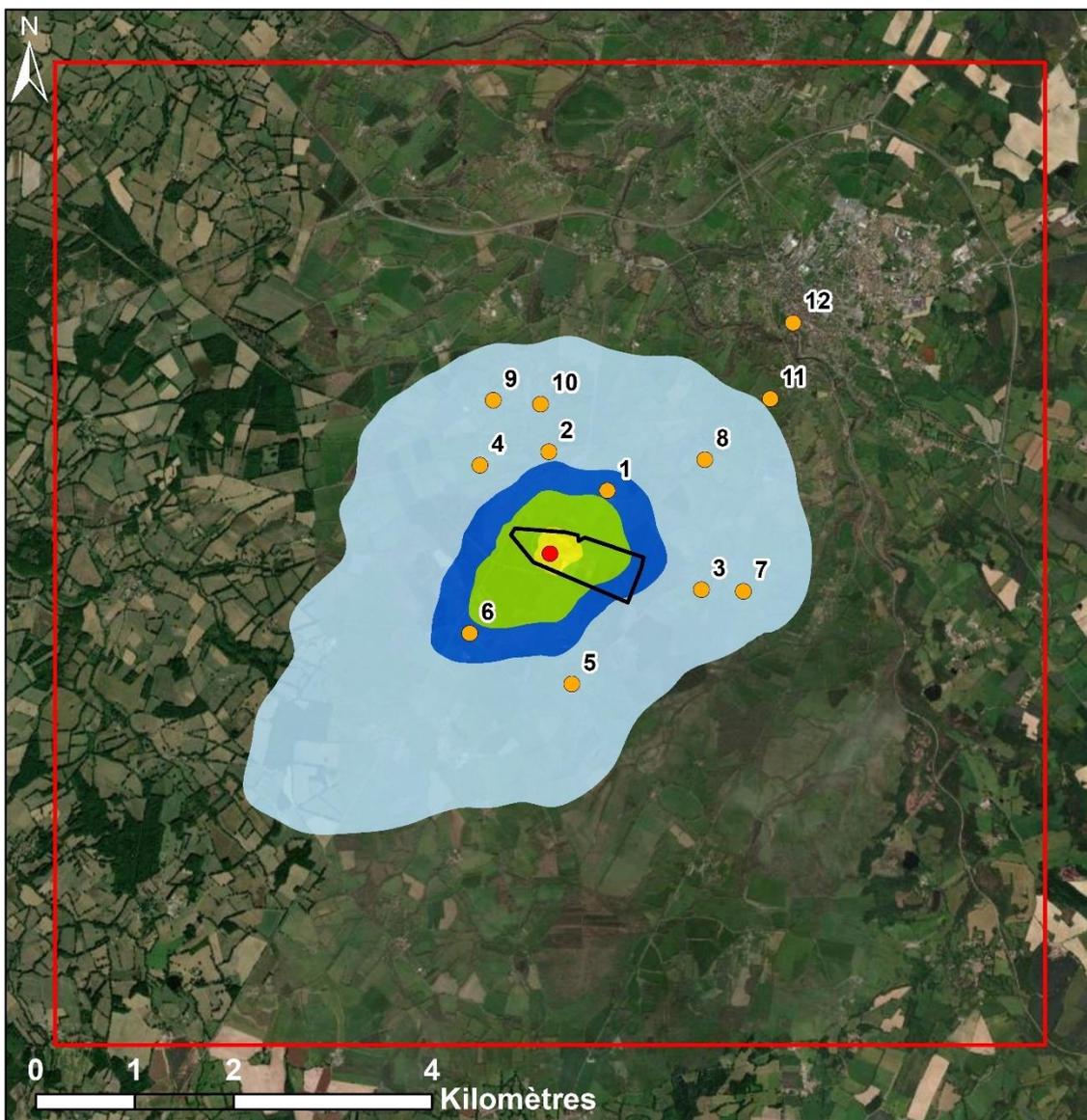




Légende

	Domaine d'étude	Dépôts au sol moyens annuels en Mn (ng/m²/s)
	Site	 < 5E-05
	Torchère	 5E-05 - 1E-04
	Points cibles	 1E-04 - 5E-04
		 5E-04 - 1E-03
		 > 1E-03

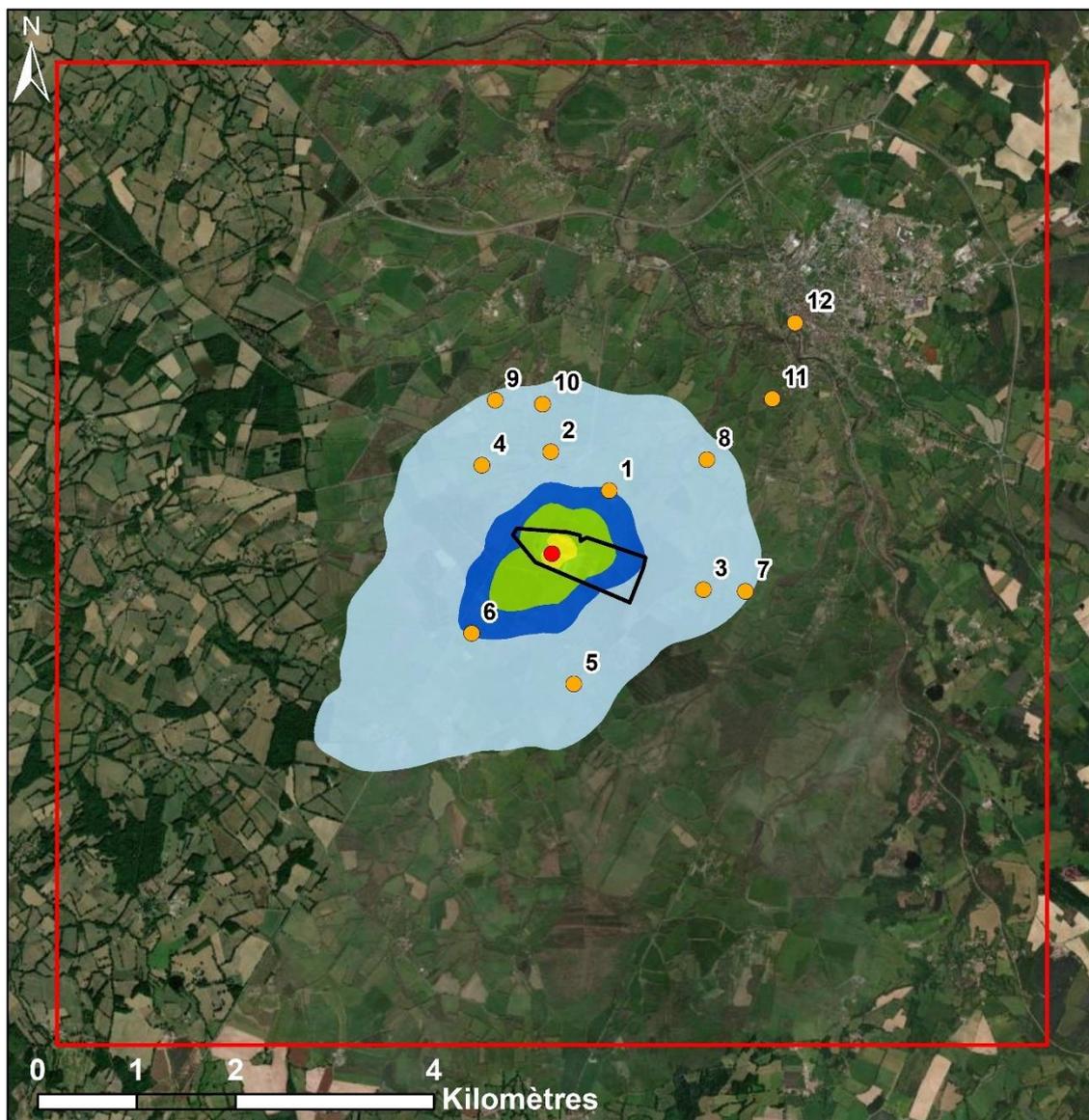




Légende

	Domaine d'étude	Dépôts au sol moyens annuels en Ni (ng/m²/s)
	Site	 < 1E-05
	Torchère	 1E-05 - 5E-05
	Points cibles	 5E-05 - 1E-04
		 1E-04 - 5E-04
		 > 5E-04





Légende

	Domaine d'étude	Dépôts au sol moyens annuels en Pb (ng/m²/s)
	Site	 < 1E-05
	Torchère	 1E-05 - 5E-05
	Points cibles	 5E-05 - 1E-04
		 1E-04 - 5E-04
		 > 5E-04



Annexe 4 : Détermination des concentrations dans les milieux d'exposition

Cette annexe présente les modes de calculs des concentrations en composés dans les milieux auxquels les personnes sont exposées, à partir des données de la modélisation selon la méthode de l'EPA (HHRAP)¹⁴.

Dans cette approche de l'EPA, les dépôts modélisés sont supposés s'accumuler sur le sol au cours du temps sans aucun phénomène d'atténuation (lixiviation, érosion, dégradation, ...) et la concentration de polluants dans le sol est obtenue par calcul de la dilution dans le sol de la quantité de composés déposés dans la couche de sol considérée. Il s'agit donc d'une **approche majorante simplifiée**.

Détermination des concentrations dans les sols

Il s'agit de déterminer la concentration dans les sols à partir des dépôts calculés par modélisation de la manière suivante :

$$C_{\text{sol}} = \frac{D \times T}{\rho \times h}$$

Avec :

- C_{sol} : concentration dans le sol (mg/kg)
- D : quantité de dépôt sur le sol (mg/m²/an)
- T : durée d'exposition (année)
- ρ : densité du sol (kg/m³)
- h : hauteur du sol (m)

Les concentrations dans les sols sont calculées en prenant les hypothèses et paramétrages suivants :

- densité de sol sec : ρ=1 300 kg/m³
- durée d'exposition : T= 50 ans

Les concentrations dans le sol ont été calculées :

- dans la couche superficielle de **1 cm d'épaisseur**, dans les zones d'habitation et de pâturages, pour l'ingestion directe de poussières (homme et animaux),
- dans la couche superficielle de **20 cm d'épaisseur**, dans les zones d'habitations ou de culture, où sont cultivés les végétaux,
- dans la couche superficielle de **10 cm d'épaisseur** au niveau des zones de pâturage et dans laquelle se trouvent les racines de l'herbe (valeur proposée dans la mise à jour de décembre 2004 du rapport GT-GIC¹⁵).

Dans cette étude, nous considérerons **Dcult = Dpât = Dpop = Dépôt sur la zone retenue pour le scénario étudié**.

¹⁴ EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion facilities. July 1998. EPA530-D-98-001A.

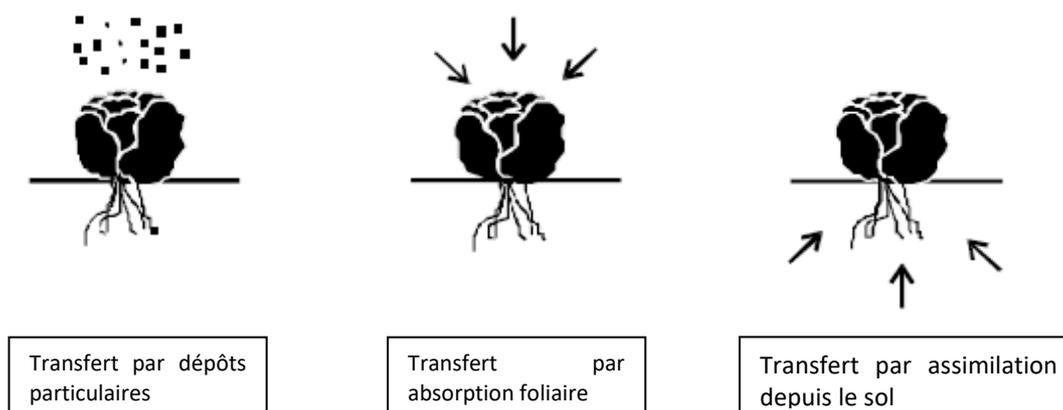
¹⁵ « Mise à jour de l'étude de l'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion », INERIS, Décembre 2004

Détermination des concentrations dans les végétaux

La contamination des végétaux a trois origines (cf. Figure 14) :

- les dépôts de polluants sur les parties aériennes provenant des retombées atmosphériques et de ré-envol de poussières,
- l'absorption foliaire de certains polluants gazeux par les feuilles de la plante,
- l'assimilation des polluants par la plante depuis le sol, par les racines, puis la diffusion dans tout le végétal.

Figure 14 : contamination des végétaux (EPA, 1998)



Transfert lié aux dépôts particulaires sur les plantes

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans la plante liée au dépôt particulaire est calculée par la formule suivante :

$$C_{dp} = D \times R_p \times \frac{1 - e^{(-k_p \times T_p)}}{Y_p \times k_p} \times t_{ms}$$

Avec :

- C_{dp} : concentration dans les plantes due au phénomène de déposition (mg/kg frais)
- D : quantité de dépôt sur le sol (mg/m²/an)
- R_p : fraction interceptée par les cultures (-)
- k_p : coefficient de perte sur la surface de la plante (année⁻¹) - effet « weathering »
- T_p : durée de culture (année)
- Y_p : rendement de production (kg sec/m²)
- t_{ms} : teneur en matière sèche de la plante (-)

Les facteurs relatifs aux végétaux utilisés sont issus des rapports de l'INERIS^{16/17} et sont présentés dans le Tableau 27.

¹⁶ INERIS. Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, INERIS (mai 2003).

¹⁷ « Mise à jour de l'étude de l'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion », INERIS, Décembre 2004

Tableau 27 : facteurs relatifs aux végétaux

Type de plante	t _{ms}	Yp (kg sec /m ²)	Rp	Kp (an ⁻¹)	Tp (an)
Légumes-racines	0,2	-	-	-	-
Légumes-feuilles	0,086	0,246	0,215	18	0,164
Légumes-fruits	0,063	10,52	0,996	18	0,164
Fruit	0,15	0,252	0,053	18	0,164
Herbe	0,2	0,24	0,5	18	0,12
Grains	0,882	-	-	-	-

Transfert lié à l'absorption foliaire

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans la plante liée à l'absorption foliaire est calculée par la formule suivante :

$$C_{gp} = C_a \times B_v \times F_v \times VG$$

Avec :

C_{gp} : concentration dans les plantes due à l'absorption foliaire (mg/kg frais)

C_a : concentration de polluant dans l'air (µg/m³)

B_v : coefficient de bio-transfert air-plante (m³/kg frais)

F_v : Fraction de polluant sous forme gazeuse (-)

VG : facteur correctif empirique (pour tenir compte du transfert réduit des polluants vers l'intérieur de la plante à vocation alimentaire et de la réduction de la contamination due aux techniques de préparation).

VG = 0,01 pour les polluants ayant un coefficient de partage octanol-eau (Kow) supérieur à 10 000 et VG = 1 pour les polluants ayant un coefficient de partage octanol-eau inférieur à 10 000.

Les facteurs de bioconcentration air/plante (B_v) sont nuls pour les métaux.

Transfert lié à l'assimilation des polluants par la plante

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans la plante est calculée par la formule suivante :

$$C_{rp} = B_r \times C_s$$

Avec :

C_{rp} : concentration dans la plante due au transfert sol/plante (mg/kg frais)

C_s : concentration dans le sol (mg/kg sol sec), dans les 20 premiers cm pour les racines, les feuilles, les fruits, les grains, et dans les 10 premiers cm pour l'herbe.

B_r : facteur de bio concentration sol/plante spécifique, dans les racines, les feuilles, les fruits, les grains du végétal, l'herbe (mg/kg frais ou sec de plante / mg/kg de sol sec).

Les facteurs de bioconcentration sol/plante (B_r) utilisés sont présentés dans le Tableau 28 et sont issus de préférence de la base de données HHRAP (EPA, 2005) et, à défaut de l'étude réalisée par le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin (1999)¹⁸. Les données HHRAP ont été privilégiées pour la transparence des sources d'informations.

¹⁸ GNRC, Rapport détaillé du GT3 (source : IPSN/DPHD/SAER) – 1999 et son annexe VIII-2

GNRC, Karine Beaugelin-Seiller, Adaptation du modèle de transfert GT3-GRNC dans un écosystème agricole aux polluants inorganiques non radioactifs – Paramètres [1] de transfert, Rapport IPSN DPRE/SERLAB/01-39

Tableau 28 : facteurs de bioconcentration sol/plante (Br exprimés par rapport à la plante fraîche)

	Br sol/racine	Br sol/feuille	Br sol/leg-fruit	Br sol/fruit	Br sol/grain	Br sol/herbe	Source biblio
unité	kg sol sec/kg frais de plante						
Arsenic	1.60E-03	5.44E-04	3.99E-04	9.50E-04	3.53E-03	7.20E-03	HHRAP 2005
Cadmium	1.28E-02	1.08E-02	7.88E-03	1.88E-02	5.47E-02	7.28E-02	HHRAP 2005
Chrome	9.00E-04	4.20E-04	3.07E-04	7.32E-04	3.97E-03	1.50E-03	HHRAP 2005
Cobalt	1.30E-02	1.70E-02	7.50E-03	7.50E-03	3.20E-03	2.20E-02	GRNC - GR3
Manganèse	1.50E-02	4.10E-02	4.80E-02	4.80E-02	2.60E-01	4.90E-01	GRNC - GR3
Méthylmercure	1.98E-02	2.53E-03	1.85E-03	4.41E-03	1.68E-02	0.00E+00	HHRAP 2005
Mercure inorganique	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	1.20E+00	GRNC - GR3
Nickel	1.60E-03	8.01E-04	5.87E-04	1.40E-03	5.29E-03	6.40E-03	HHRAP 2005
Plomb	1.80E-03	1.17E-03	8.57E-04	2.04E-03	7.94E-03	9.00E-03	HHRAP 2005

Contamination totale des plantes

La contamination totale des plantes correspond à la somme des concentrations dans les plantes calculées par le transfert sol/plante, par le transfert air/plante et liées au dépôt de particules :

$$C_p = C_{dp} + C_{gp} + C_{rp}$$

Avec :

- C_p : concentration totale dans les plantes (mg/kg frais)
- C_{dp} : concentration dans les plantes due au phénomène de déposition (mg/kg frais)
- C_{gp} : concentration dans les plantes due à l'absorption foliaire (mg/kg frais)
- C_{rp} : concentration dans la plante due au transfert sol/plante (mg/kg frais)

Détermination des concentrations dans les produits d'origine animale

On suppose de manière majorante que toute la nourriture ingérée par l'animal provient de la zone d'exposition.

Les facteurs de bioconcentration dans les produits animaux (Ba) utilisés sont présentés dans le Tableau 29 et sont issus de préférence de la base de données HHRAP (EPA, 2005) et, à défaut de l'étude réalisée par le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin (1999)¹⁹. Les données HHRAP ont été privilégiées pour la transparence des sources d'informations.

¹⁹ GNRC, Rapport détaillé du GT3 (source : IPSN/DPHD/SAER) – 1999 et son annexe VIII-2

GNRC, Karine Beaugelin-Seiller, Adaptation du modèle de transfert GT3-GRNC dans un écosystème agricole aux polluants inorganiques non radioactifs – Paramètres [1] de transfert, Rapport IPSN DPRE/SERLAB/01-39

Tableau 29 : coefficient de bio-transfert dans les produits animaux (Ba exprimés par rapport à la masse fraîche de produit)

Substance	Ba _{boeuf}	Ba _{lait}	Ba _{volaille}	Ba _{oeuf}	Ba _{lait matern}	Source
unité	j/kg frais	j/l frais	j/kg frais	j/kg frais	j/kg frais	
Arsenic	2.00E-03	6.00E-05	2.00E-02	2.00E-02	-	HHRAP 2005 & GRNC - SERLAB/01-39
Cadmium	1.20E-04	6.50E-06	1.06E-01	2.50E-03	-	HHRAP 2005
Chrome	5.50E-03	1.50E-03	3.00E-02	3.00E-02	-	HHRAP 2005 & GRNC - SERLAB/01-39
Cobalt	1.00E-03	2.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	-	GRNC - GR3
Manganèse	5.00E-04	1.00E-04	5.00E-02	7.00E-02	-	GRNC - GR3
Méthylmercure	7.80E-04	3.38E-04	3.58E-03	3.58E-03	-	HHRAP 2005
Mercure inorganique	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-	HHRAP 2005
Nickel	6.00E-03	1.00E-03	5.00E-03	4.00E-01	-	HHRAP 2005 & GRNC - GR3
Plomb	3.00E-04	2.50E-04	1.2	1.2	-	HHRAP 2005 & GRNC - SERLAB/01-39

Transfert vers la viande de bœuf

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans la viande de bœuf est calculée par l'équation suivante :

$$C_{boeuf} = (Q_{herbe} \cdot C_{herbe} + Q_s \cdot C_s \cdot B_s) \times Ba_{boeuf}$$

Avec :

C_{boeuf} : concentration dans la viande (mg/kg de viande fraîche)

Q_{herbe} : quantité totale d'herbe ingérée quotidiennement par l'animal (kg frais/j)

C_{herbe} : concentration en polluant dans l'herbe ingérée par l'animal (mg/kg)

Q_s : quantité de sol ingérée quotidiennement par l'animal (kg sol sec/j)

C_s : concentration en polluant dans le sol (mg/kg sol sec) dans le premier cm

B_s : facteur de biodisponibilité (Bs = 1)

Ba_{boeuf} : facteur de biotransfert pour la viande de bœuf (j/kg frais)

Les paramètres relatifs au bœuf sont les suivants (INERIS²⁰) :

$$Q_{herbe} = 60 \text{ kg frais/j}$$

$$Q_s = 0,5 \text{ kg sec/j}$$

Transfert vers le lait

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans le lait est calculée par l'équation suivante :

$$C_{lait} = (Q_{herbe} \cdot C_{herbe} + Q_s \cdot C_s \cdot B_s) \times Ba_{lait}$$

Avec :

C_{lait} : concentration dans le lait (mg/kg de lait)

Q_{herbe} : quantité totale d'herbe ingérée quotidiennement par l'animal (kg frais/j)

C_{herbe} : concentration en polluant dans l'herbe ingérée par l'animal (mg/kg)

²⁰ INERIS. Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, INERIS (mai 2003).

Q_s : quantité de sol ingérée quotidiennement par l'animal (kg sol sec/j)
 C_s : concentration en polluant dans le sol (mg/kg sol sec) dans le premier cm
 B_s : facteur de biodisponibilité ($B_s = 1$)
 Ba_{lait} : facteur de biotransfert pour le lait (j/kg frais)

Les paramètres relatifs à la vache laitière sont les suivants (INERIS²⁰) :

$Q_{\text{herbe}} = 80$ kg frais/j
 $Q_s = 0,64$ kg sec/j

Transfert vers la viande de volaille

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans la viande de volaille est calculée par l'équation suivante :

$$C_{\text{volaille}} = (Q_{\text{grain}} \cdot C_{\text{grain}} + Q_s \cdot C_s \cdot B_s) \times Ba_{\text{volaille}}$$

Avec :

C_{volaille} : concentration dans la viande de volaille (mg/kg de viande fraîche)
 Q_{grain} : quantité totale de grain ingérée quotidiennement par l'animal (kg frais/j)
 C_{grain} : concentration en polluant dans les grains ingérée par l'animal (mg/kg)
 Q_s : quantité de sol ingérée quotidiennement par l'animal (kg sol sec/j)
 C_s : concentration en polluant dans le sol (mg/kg sol sec) dans le premier cm
 B_s : facteur de biodisponibilité ($B_s = 1$)
 Ba_{volaille} : facteur de biotransfert pour la viande de volaille (j/kg frais)

Les paramètres relatifs aux volailles sont les suivants (INERIS²⁰) :

$Q_{\text{grain}} = 0,2$ kg frais/j
 $Q_s = 0,02$ kg sec/j

Transfert vers les œufs

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans les œufs est calculée par l'équation suivante :

$$C_{\text{œuf}} = (Q_{\text{grain}} \cdot C_{\text{grain}} + Q_s \cdot C_s \cdot B_s) \times Ba_{\text{œuf}}$$

Avec :

$C_{\text{œuf}}$: concentration dans les œufs (mg/kg frais)
 Q_{grain} : quantité totale de grain ingérée quotidiennement par l'animal (kg frais/j)
 C_{grain} : concentration en polluant dans les grains ingérés par l'animal (mg/kg)
 Q_s : quantité de sol ingérée quotidiennement par l'animal (kg sol sec/j)
 C_s : concentration en polluant dans le sol (mg/kg sol sec) dans le premier cm
 B_s : facteur de biodisponibilité ($B_s = 1$)
 $Ba_{\text{œuf}}$: facteur de biotransfert pour les œufs (j/kg frais)

Les paramètres relatifs aux volailles sont les suivants (INERIS²⁰) :

$Q_{\text{grain}} = 0,2$ kg frais/j
 $Q_s = 0,02$ kg sec/j

Annexe 5 : Résultats par tranche d'âge de la caractérisation des risques sanitaires pour l'exposition par voie digestive

Doses journalières d'exposition pour la voie digestive

Classe d'âge	Apport par ingestion	Unité	Arsenic	Cadmium	Chrome	Cobalt	Manganèse	Méthyl mercure	Mercuré inorganique	Nickel	Plomb
Classe 1 : de 0 à 1 an	de sol	mg/kg/j	2.8E-09	4.5E-09	3.1E-08	7.3E-10	1.4E-07	1.0E-11	5.1E-10	5.8E-08	3.8E-08
	de végétaux	mg/kg/j	5.0E-10	3.1E-09	4.9E-09	4.8E-10	2.1E-07	7.6E-11	5.6E-09	1.1E-08	7.4E-09
	de produits animaux	mg/kg/j	8.7E-11	1.0E-10	8.7E-09	2.7E-10	1.7E-08	6.5E-12	0.0E+00	1.6E-08	1.8E-08
	de lait maternel	mg/kg/j	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Apport total	mg/kg/j	3.4E-09	7.7E-09	4.5E-08	1.5E-09	3.6E-07	9.3E-11	6.1E-09	8.5E-08	6.3E-08
Classe 2 : de 1 à 3 ans	de sol	mg/kg/j	2.9E-09	4.6E-09	3.2E-08	7.5E-10	1.4E-07	1.1E-11	5.2E-10	6.0E-08	3.9E-08
	de végétaux	mg/kg/j	9.7E-10	5.5E-09	9.7E-09	8.5E-10	4.0E-07	1.2E-10	9.8E-09	2.1E-08	1.4E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	2.1E-10	2.8E-10	1.8E-08	5.5E-10	3.9E-08	1.4E-11	0.0E+00	4.0E-08	5.6E-08
	Apport total	mg/kg/j	4.1E-09	1.0E-08	6.0E-08	2.1E-09	5.9E-07	1.5E-10	1.0E-08	1.2E-07	1.1E-07
Classe 3 : de 3 à 6 ans	de sol	mg/kg/j	2.0E-09	3.2E-09	2.2E-08	5.2E-10	1.0E-07	7.4E-12	3.6E-10	4.2E-08	2.7E-08
	de végétaux	mg/kg/j	5.7E-10	3.8E-09	5.7E-09	5.2E-10	3.4E-07	6.8E-11	7.1E-09	1.2E-08	8.7E-09
	de produits animaux	mg/kg/j	1.4E-10	2.8E-10	1.1E-08	3.0E-10	2.5E-08	7.7E-12	0.0E+00	2.4E-08	4.5E-08
	Apport total	mg/kg/j	2.7E-09	7.3E-09	3.9E-08	1.3E-09	4.6E-07	8.3E-11	7.5E-09	7.8E-08	8.1E-08
Classe 4 : de 6 à 11 ans	de sol	mg/kg/j	1.3E-09	2.0E-09	1.4E-08	3.2E-10	6.2E-08	4.6E-12	2.2E-10	2.6E-08	1.7E-08
	de végétaux	mg/kg/j	3.7E-10	2.4E-09	3.8E-09	3.3E-10	2.1E-07	4.3E-11	4.4E-09	8.1E-09	5.7E-09
	de produits animaux	mg/kg/j	9.0E-11	1.8E-10	6.6E-09	1.8E-10	1.5E-08	4.8E-12	0.0E+00	1.5E-08	2.8E-08
	Apport total	mg/kg/j	1.7E-09	4.6E-09	2.4E-08	8.4E-10	2.9E-07	5.2E-11	4.6E-09	4.9E-08	5.1E-08
Classe 5 : de 11 à 15 ans	de sol	mg/kg/j	3.1E-10	4.9E-10	3.4E-09	7.8E-11	1.5E-08	1.1E-12	5.4E-11	6.3E-09	4.1E-09
	de végétaux	mg/kg/j	2.4E-10	1.6E-09	2.4E-09	2.2E-10	1.4E-07	3.0E-11	3.0E-09	5.2E-09	3.7E-09
	de produits animaux	mg/kg/j	6.2E-11	1.4E-10	3.7E-09	9.6E-11	9.4E-09	2.6E-12	0.0E+00	8.8E-09	2.0E-08
	Apport total	mg/kg/j	6.1E-10	2.2E-09	9.5E-09	4.0E-10	1.6E-07	3.4E-11	3.0E-09	2.0E-08	2.8E-08
Classe 6 : de 15 à 18 ans	de sol	mg/kg/j	2.4E-10	3.8E-10	2.7E-09	6.2E-11	1.2E-08	8.7E-13	4.3E-11	4.9E-09	3.2E-09
	de végétaux	mg/kg/j	1.9E-10	1.3E-09	1.9E-09	1.8E-10	1.1E-07	2.4E-11	2.4E-09	4.1E-09	2.9E-09
	de produits animaux	mg/kg/j	4.9E-11	1.2E-10	2.7E-09	6.7E-11	7.4E-09	1.9E-12	0.0E+00	6.9E-09	1.7E-08
	Apport total	mg/kg/j	4.8E-10	1.8E-09	7.3E-09	3.1E-10	1.3E-07	2.7E-11	2.4E-09	1.6E-08	2.3E-08
Classe 7 : les plus de 18 ans	de sol	mg/kg/j	2.8E-10	1.7E-09	2.9E-09	2.3E-10	1.5E-07	2.8E-11	3.0E-09	6.1E-09	4.3E-09
	de végétaux	mg/kg/j	5.1E-11	1.3E-10	2.4E-09	5.3E-11	7.2E-09	1.6E-12	0.0E+00	7.0E-09	1.9E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	5.4E-10	2.1E-09	7.6E-09	3.4E-10	1.7E-07	3.0E-11	3.0E-09	1.7E-08	2.6E-08
	Apport total	mg/kg/j	8.8E-10	3.9E-09	1.3E-08	6.2E-10	3.2E-07	5.9E-11	6.0E-09	3.0E-08	5.0E-08
DJE pondérée sur 30 ans	de sol	mg/kg/j	5.4E-10	1.8E-09	5.8E-09	2.6E-10	1.3E-07	2.2E-11	2.3E-09	1.1E-08	7.5E-09
	de végétaux	mg/kg/j	1.5E-10	7.8E-10	2.9E-09	1.4E-10	6.2E-08	1.5E-11	1.3E-09	7.5E-09	1.6E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	4.3E-10	1.6E-09	7.5E-09	3.0E-10	1.3E-07	2.4E-11	2.3E-09	1.7E-08	2.7E-08
	Apport total	mg/kg/j	8.3E-10	2.6E-09	1.2E-08	4.7E-10	1.8E-07	3.6E-11	3.2E-09	2.6E-08	3.2E-08