

Janvier 2019



F2E

Centrale d'enrobage à chaud située à Boën-sur-Lignon (42)

Evaluation des risques sanitaires

Références : Rapport ARIA/2019.001

Documents associés : -

Type de document : Rapport d'études

Avancement du document : Version 1

Accessibilité : Restreint

"Un seul métier,
L'environnement Atmosphérique"

ARIA Technologies SA

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

ARIA Technologies	Titre : Centrale d'enrobage à chaud située à Boën-sur-Lignon (42) – Evaluation des risques sanitaires						
N° rapport ARIA	19.001						
N° action ARIA	18.273						
Nombre de pages	104	Nombre de figures	21	Nombre de tableaux	52	Nombre d'annexes	6
Auteur(s)	ARIA Technologies, Anne-Sophie SAFFRE, Chef de projet – Qualité de l'air Alisson GODARD, Ingénieur d'études						
Sous-traitants	-						
Intérêt documentaire	Accessibilité		Confidentielle		Libre		
Oui		Non	ARIA Technologies		Restreinte		
Etat du document	Rédacteurs Nom/Date			Relecteur Nom/Date			
Version V1	Anne-Sophie SAFFRE, Alisson GODARD Le 08/01/2019			Anne-Sophie SAFFRE Le 10/01/2019			
DIFFUSION	Date	DESTINATAIRES				Nombre	
Diffusion informatique	10/01/2019	F2E				1	
Diffusion papier	-	-				-	

SOMMAIRE

1. CADRE DE L'ETUDE.....	8
2. INVENTAIRE DES EMISSIONS	9
2.1 Rejets dans l'air	9
2.1.1 Rejets Canalisés	9
2.1.2 Trafic routier	10
2.1.3 Emissions diffuses de poussières.....	11
2.2 Rejets dans l'eau.....	11
2.3 Synthèse.....	11
3. EVALUATION DES ENJEUX ET DES VOIES D'EXPOSITION	12
3.1 Populations	12
3.2 Populations sensibles et installations sportives.....	14
3.3 Usages autour du site.....	17
3.3.1 Occupation des sols.....	17
3.3.2 Usages agricoles	18
3.3.3 Activités industrielles et activités connexes	19
3.4 Météorologie.....	19
3.4.2 Données météorologiques	20
3.4.3 Analyse météorologique.....	20
4. SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION	25
5. EVALUATION PROSPECTIVE DES RISQUES SANITAIRES	27
5.1 Choix des traceurs de risque, identification des dangers et relations dose-réponse.....	27
5.1.1 Substances émises par le site	27
5.1.2 Identification des dangers	27
5.1.3 Etude des relations dose-réponse	28
5.1.4 Choix des traceurs de risque	32
5.3 Etude de la dispersion atmosphérique	33
5.3.1 Données d'entrée	33
5.3.2 Détermination des concentrations dans l'air et des dépôts au sol.....	36
5.4 Evaluation de l'exposition humaine	47
5.4.1 Voies d'exposition	47
5.4.2 Exposition par inhalation.....	47
5.4.3 Exposition par ingestion	50
5.5 Caractérisation des risques.....	61
5.5.1 Méthodologie	61
5.5.2 Evaluation des risques sanitaires pour les substances à seuil.....	63
5.5.3 Evaluation des risques sanitaires pour les substances sans seuil	65
5.6 Incertitudes	66
5.6.1 Incertitudes relatives à la modélisation atmosphérique.....	66
5.6.2 Incertitudes relatives à l'évaluation des risques sanitaires.....	68
7. CONCLUSION.....	70
ANNEXES	72
ANNEXE 1 : FICHES TOXICOLOGIQUES	73
Dioxyde d'azote (N° CAS 10102-44-0).....	74
Poussières (PM10 et PM2,5)	75

Dioxyde de soufre (N° CAS : 7446-09-5)	76
Monoxyde de carbone (N° CAS : 630-08-0)	77
Benzène (N° CAS : 71-43-2)	78
Benzo(a)pyrène (N° CAS : 50-32-8)	79
<u>ANNEXE 2 : DESCRIPTION DU MODELE NUMERIQUE ARIA IMPACT</u>	<u>80</u>
<u>ANNEXE 3 : CARTES DE CONCENTRATION EN MOYENNE ANNUELLE – SCENARIO MAX.....</u>	<u>85</u>
<u>ANNEXE 4 : CARTES DE CONCENTRATION EN MOYENNE ANNUELLE – SCENARIO MOYEN</u>	<u>92</u>
<u>ANNEXE 5 : CARTES DE DEPOTS AU SOL – SCENARIO MAX.....</u>	<u>99</u>
<u>ANNEXE 6 : CARTES DE DEPOTS AU SOL – SCENARIO MOYEN.....</u>	<u>101</u>
<u>ANNEXE 7 : RESULTATS PAR TRANCHE D’AGE DE LA CARACTERISATION DES RISQUES SANITAIRES POUR L’EXPOSITION PAR VOIE DIGESTIVE</u>	<u>103</u>

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : composés émis à l'atmosphère par la centrale d'enrobage à chaud	9
Tableau 2 : caractéristiques physiques	9
Tableau 3 : émissions canalisées de la centrale d'enrobage.....	10
Tableau 4 : nombre de véhicules circulant sur le site et km parcourus.....	10
Tableau 5 : facteurs d'émissions (COPERT V).....	10
Tableau 6 : estimation des émissions.....	10
Tableau 7 : Synthèse des sources potentielles de danger identifiées	11
Tableau 8 : données de population (Source : Insee, Recensements de la population, mis en ligne le 18/10/2018)	14
Tableau 9 : établissements recevant du public sensible	14
Tableau 10 : recensement agricole 2010 (recensement le plus récent disponible)	19
Tableau 11 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent toutes directions confondues	21
Tableau 12 : statistiques relatives à la pluviométrie - Boën-sur-Lignon	23
Tableau 13 : statistiques relatives à la température de l'air - Boën-sur-Lignon	23
Tableau 14 : substances émises	27
Tableau 15 : classifications CIRC, US-EPA et Union Européenne pour les effets cancérigènes	27
Tableau 16 : identification des dangers par substances	28
Tableau 17 : disponibilité des Valeurs Toxicologiques de Référence (exposition chronique)	30
Tableau 18 : valeurs guides	31
Tableau 19 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques à seuil	31
Tableau 20 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques sans seuil	31
Tableau 21 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées.....	37
Tableau 22 : réglementation en vigueur en France pour la santé humaine	39
Tableau 23 : concentrations en moyenne annuelle au niveau des points cibles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – scénario maximal.....	41
Tableau 24 : concentrations en moyenne annuelle au niveau des points cibles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – scénario moyen	41
Tableau 25 : dépôts totaux au sol moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$) – scénario maximal	44
Tableau 26 : dépôts totaux au sol moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$) – scénario moyen	44
Tableau 27 : concentration en moyenne annuelle et valeurs guides OMS	47
Tableau 28 : récapitulatif des scénarios inhalation retenus	48
Tableau 29 : doses d'exposition par inhalation.....	49
Tableau 30 : concentrations dans les sols – scénario maximal et scénario moyen	53
Tableau 31 : facteurs relatifs aux végétaux.....	55
Tableau 32 : concentrations dans les plantes dues au dépôt de particules (transfert dépôt/plante) ..	55
Tableau 33 : facteurs de bioconcentration air/plante (B_v exprimés par rapport à la plante fraîche)....	55
Tableau 34 : concentrations dans les végétaux (transfert air/plante).....	56
Tableau 35 : facteurs de bioconcentration sol/plante (B_r exprimés par rapport à la plante fraîche)....	56
Tableau 36 : concentrations dans les végétaux (transfert sol/plante)	56
Tableau 37 : contamination totale des plantes (via le sol, l'air et les dépôts de particules)	57
Tableau 38 : coefficient de bio-transfert dans les produits animaux (B_a exprimés par rapport à la masse fraîche de produit)	57
Tableau 39 : contamination des produits d'origine animale liée à l'installation – scénario habitant majorant.....	59
Tableau 40 : paramètres relatifs aux différentes catégories d'âge (données INERIS)	60
Tableau 41 : fraction d'aliments auto-produits (données INERIS).....	60

Tableau 42 : Dose Journalière d'Exposition totale pour chaque tranche d'âge – Scénario maximal et scénario moyen	61
Tableau 43 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil par inhalation – scénario moyen et scénario maximal	63
Tableau 44 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil par ingestion	64
Tableau 45 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil par organe cible	64
Tableau 46 : excès de Risque Individuel pour les traceurs du risque sans seuil – scénario moyen et scénario maximal	65
Tableau 47 : synthèse des risques à seuil (quotient de danger global par organe cible)	70
Tableau 48 : synthèse des risques sans seuil (Excès de Risque Individuel global)	71
Tableau 49 : doses journalières d'exposition pour la voie digestive – scénario majorant	104

FIGURES

Figure 1 : communes présentes dans le rayon d'affichage	12
Figure 2 : localisation des habitations les plus proches	13
Figure 3 : localisation des populations sensibles et des équipements sportifs	16
Figure 4 : occupation du sol (données CORINE Land Cover 2012)	17
Figure 5 : culture majoritaire sur chaque îlot de culture (données RPG 2012)	18
Figure 6 : rose des vents générale –Boën-sur-Lignon – 2015 à 2017 (3 ans)	21
Figure 7 : répartition des cas météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique	22
Figure 8 : variation moyenne mensuelle de la pluviométrie (période du 01/01/2015 au 31/12/2017 - Boën-sur-Lignon)	23
Figure 9 : variation moyenne mensuelle de la température (période du 01/01/2015 au 31/12/2017- Boën-sur-Lignon)	24
Figure 10 : schéma conceptuel d'exposition autour du site	26
Figure 11 : logigramme pour le choix des VTR (DGS)	29
Figure 12 : carte du domaine d'étude	33
Figure 13 : topographie du domaine d'étude (source : IGN)	34
Figure 14 : rose des vents	35
Figure 15 : localisation des points cibles	38
Figure 16 : carte de concentration en moyenne annuelle en oxyde d'azote – scénario maximal	42
Figure 17 : carte de concentration en moyenne annuelle en oxyde d'azote – scénario moyen	43
Figure 18 : carte de dépôts en poussières (PM10) – scénario maximal	45
Figure 19 : carte de dépôts en poussières (PM10) – scénario moy	46
Figure 20 : contamination des végétaux (EPA, 1998)	54

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
MTD	Meilleurs Techniques Disponibles
COV	Composés Organiques Volatils
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
µg	Microgrammes = 10 ⁻⁶ g
CI	Concentration Inhalée
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
CO	Monoxyde de carbone
DGS	Direction Générale de la Santé
ERI	Excès de Risque Individuel
ERS	Evaluation des Risques Sanitaires
ERU	Excès de Risque Unitaire
fg	Femtogrammes = 10 ⁻¹⁵ g
HCl	Acide chlorhydrique
INERIS	Institut National de l'Environnement et des RISques
InVS	Institut de Veille Sanitaire
ng	Nanogrammes = 10 ⁻⁹ g
NO ₂	Dioxyde d'azote
NO _x	Oxydes d'azote assimilés au NO ₂
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PM _{2,5}	Poussières de diamètre inférieur à 2.5 µm
PM ₁₀	Poussières de diamètre inférieur à 10 µm
QD	Quotient de Danger
RIVM	Rijksinstituut Voor Volksgezondheid (Institut National de Santé Publique et de l'Environnement des Pays-Bas)
SO ₂	Dioxyde de soufre
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'un dossier de demande d'exploiter d'une Centrale d'enrobage à chaud située à Boën-sur-Lignon (42), F2E a chargé ARIA Technologies de réaliser l'évaluation des risques sanitaires.

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 » publiée par l'INERIS en août 2013. Elle se déroule en trois étapes :

1. Evaluation des émissions des installations : caractérisation des émissions et conformité au regard des prescriptions réglementaires et aux meilleures techniques disponibles ;
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, les usages et les populations exposées ;
3. Evaluation prospective des risques sanitaires : estimation des risques attribuables aux émissions 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 1).

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

2.1 REJETS DANS L'AIR

Les émissions atmosphériques rencontrées dans le cadre de l'exploitation des installations projetées sur le site de la ZAC de Champbayard à Boën- sur-Lignon portent principalement sur :

- Les rejets des effluents gazeux issus du tube sécheur de la centrale d'enrobage (rejets canalisés) ;
- Les poussières diffuses ;
- Le trafic routier (camion + VL) engendré par le site.

2.1.1 Rejets Canalisés

2.1.1.1 Composés inventoriés

Les composés rejetés au niveau de la centrale d'enrobage à chaud ont été fournis par le Client et sont listés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : composés émis à l'atmosphère par la centrale d'enrobage à chaud

Nom	N°CAS
Monoxyde de carbone CO	630-08-0
Oxydes d'azote (NOx éq NO ₂)	10102-44-0
Dioxyde de soufre SO ₂	05-09-7446
Benzène	71-43-2
Benzo(a)pyrène	50-32-8
Poussières	-

2.1.1.2 Flux à l'émission

Le Tableau 2 présente les caractéristiques de la source d'émission, et le Tableau 3 indique les émissions pour deux scénarios : scénario moyen et scénario maximal. Les données ont été transmises par F2E.

Tableau 2 : caractéristiques physiques

	Unité	Centrale d'enrobage
Type de source	-	Canalisée
Coordonnée Lambert 93 X	km	779,378
Coordonnée Lambert 93 Y	km	6516,829
Hauteur par rapport au sol	m	13
Diamètre de la cheminée	m	0.7
Température des rejets	°C	110
Vitesse d'éjection	m/s	30

Tableau 3 : émissions canalisées de la centrale d'enrobage

Scénario	NO ₂	SO ₂	CO	Poussières	Benzène	Benzo[a]pyrène
	kg/h					
Scénario moyen	1.20375	0.61425	12.49695	0.5931	0.0225	0.00045
Scénario maximal	8.235	12.0915	52.25985	4.185	0.0225	0.00045

Quel que soit le scénario, l'installation fonctionne du lundi au vendredi de 6h00 à 17h00.

2.1.2 Trafic routier

Le trafic routier sur le site peut générer également des émissions à l'atmosphère. Comme indiqué dans l'étude d'impact au chapitre relatif à l'impact lié aux transports, le trafic maximal sera de l'ordre de 71 camions par jour et le trafic moyen estimé entre 20 et 25 camions par jour.

Tableau 4 : nombre de véhicules circulant sur le site et km parcourus

Situation PL	Nbre de camions/j	Distance parcourue par véhicule km/véhicule (en moyenne)	Distance totale annuelle* km/an
Moyen	25	0,600	5 475
Maximale	71	0,600	15 549

* 365 jours par an (hypothèse majorante)

En estimant les émissions à partir des facteurs issus de la méthodologie européenne COPERT V¹ (cf. Tableau 5) et des données du Tableau 4, les émissions annuelles générées par le trafic (cf. Tableau 6) sont très faibles vis-à-vis des autres sources d'émissions sur le site (cf. Tableau 3) : elles représentent au maximum 0,07% des émissions mesurées en PM10 et 3% des émissions mesurées en NOx.

Tableau 5 : facteurs d'émissions (COPERT V)

facteur d'émission	Unités	PM10	NOX
PL	g/km	0.08	2.5

Tableau 6 : estimation des émissions

Emissions	Unités	PM10	NOX
Scénario moyen	kg/j	0,0012	0,0375
Scénario max	kg/j	0,003408	0,1065

Les émissions liées au trafic routier généré sur le site sont donc négligeables vis-à-vis des émissions de la centrale d'enrobage. Elles ne seront pas prises en compte dans la suite de l'étude.

¹ Facteurs d'émissions pour un camion Euro 5 de 32 tonnes roulant à 20 km/h et chargé à 50%

2.1.3 Emissions diffuses de poussières

Les émissions de poussières seront principalement liées :

- à la circulation des camions et du chargeur sur le site,
- au transfert des matériaux sur le site, notamment manipulation des granulats et ravitaillement du silo à fillers

Ces sources d'émissions seront directement liées à la nature des matériaux traités et des conditions météorologiques (périodes sèches notamment). En conséquence et compte tenu de la nature diffuse de ces émissions, leurs quantifications n'est pas réalisable.

2.2 REJETS DANS L'EAU

Les activités du site de la ZAC de Champbayard, centre de recyclage des matériaux, centrale d'enrobage et agence locale ne sont pas à l'origine de rejets d'eaux industrielles.

Les rejets d'eaux sont constitués d'eaux de lavage des engins, d'eaux sanitaires, d'eaux pluviales et éventuellement d'eaux incendie.

Les rejets aqueux ne sont pas considérés comme un enjeu vis-à-vis de la santé humaine et ne sont pas retenus comme source de danger pour les populations environnantes.

2.3 SYNTHÈSE

Le tableau présenté ci-après permet de synthétiser les émissions retenues.

Tableau 7 : Synthèse des sources potentielles de danger identifiées

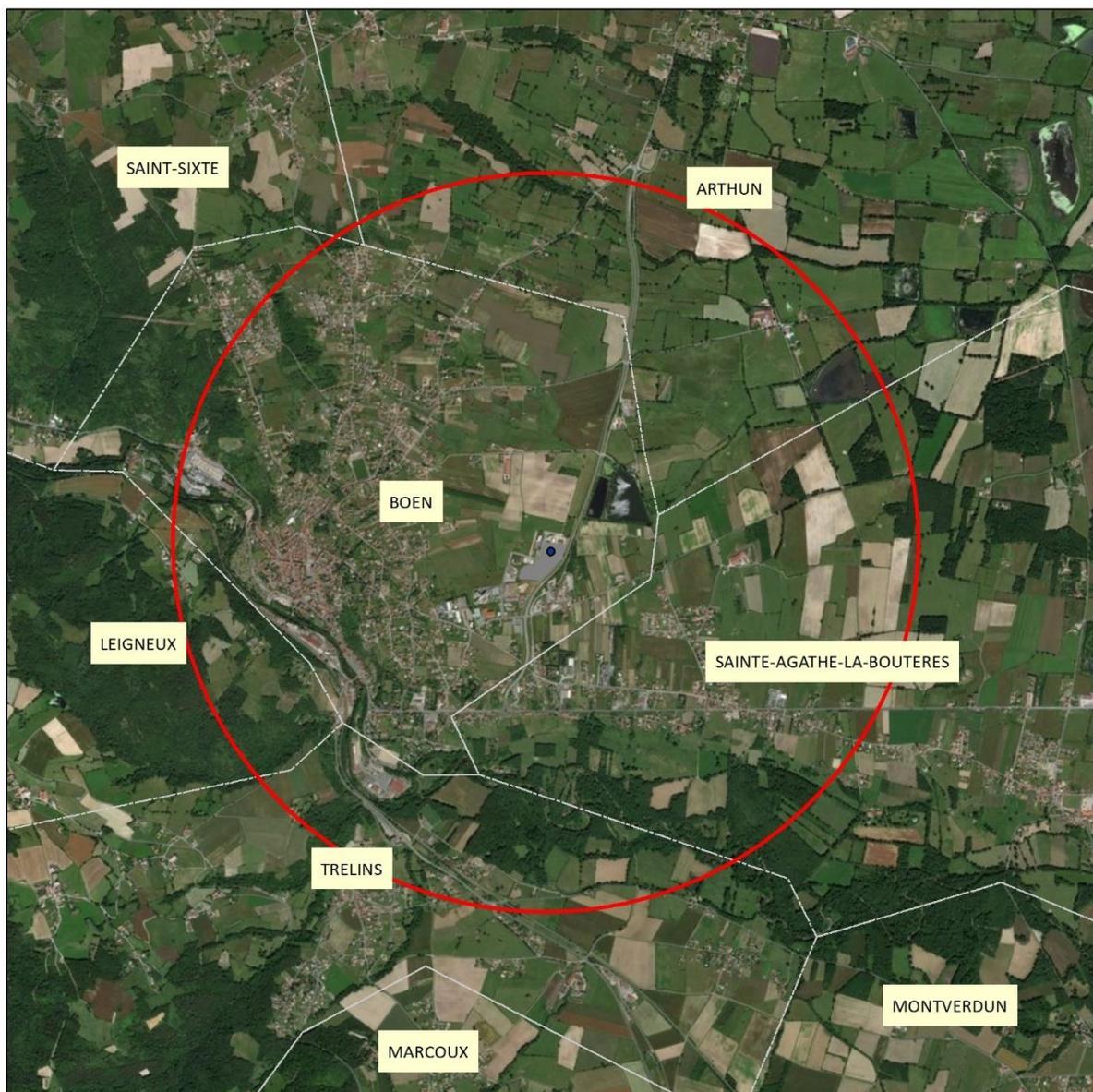
Source de dangers	Nature du danger	Substances ou effet impliqués	Milieu impacté	Retenu (Oui/Non)
Rejets aqueux	Eaux usées sanitaires Eaux pluviales	-	Eau	Non
Rejets atmosphériques canalisés	Gaz et poussières en sortie de la centrale d'enrobage	Poussières Monoxyde de carbone (CO) Oxydes d'azote (NOx) Dioxyde de soufre (SO2) Benzène BaP	Air	Oui
Trafic routier	Gaz d'échappement	NOx, particules ...	Air	Non
	Poussières diffuses	Particules	Air	Non

3. EVALUATION DES ENJEUX ET DES VOIES D'EXPOSITION

3.1 POPULATIONS

Cinq communes sont présentes dans le rayon d'affichage de 2 km : Boën-sur-Lignon, Arthun, Sainte-Agathe-la-Boutères, Trelins et Leigneux.

Figure 1 : communes présentes dans le rayon d'affichage



Légende

- Centrale d'enrobage
- Rayon d'affichage
- Limites des communes
- Limite du site

0 0.5 1 2
Kilomètres



Les habitations à proximité du site sont situées :

- à 100 mètres au sud-est du site au-delà de la RD 3008. Au-delà à plus de 500 mètres de la limite d'emprise du site se situent d'autres habitations ;
- à 350 mètres au Sud-Ouest du site ;
- à 600 mètres à l'Ouest du site et de la zone d'implantation de la centrale se situent des premières habitations de la commune de Boën sur Lignon.
- au Nord les premières habitations se situent à plus de 1 500 m du site.

Figure 2 : localisation des habitations les plus proches



Le Tableau 8 indique les données de population pour les 5 communes précédemment citées.

Tableau 8 : données de population (Source : Insee, Recensements de la population, mis en ligne le 18/10/2018)

Dép.	COMMUNE	Surface de la commune (km ²)	Population légale en 2015	Densité de population 2014 (hab/km ²)	Population principale en 2015 pour les 0 - 10 ans
42	Arthun	13,766	563	40.9	86
42	Boën-sur-Lignon	5,808	3308	569.6	350
42	Leigneux	4,604	384	83.4	57
42	Sainte-Agathe-la-Bouteresse	11,738	1023	87.2	136
42	Trelins	8,379	648	77.3	83

3.2 POPULATIONS SENSIBLES ET INSTALLATIONS SPORTIVES

Conformément au guide méthodologique INERIS de 2013, sont recensés autour du site :

- les populations sensibles et vulnérables (enfants, personnes âgées, malades) : crèches, établissements scolaires, maisons de retraite, centre de soins ;
- les installations de plein air recevant du public (terrains de sport,...).

Dans le rayon d'affichage sont recensés :

- 2 structures multi-accueil (crèche, halte-garderie) (Source : <http://lescreches.fr>) ;
- 4 écoles maternelles et primaires (source : annuaire de l'éducation nationale <http://www.education.gouv.fr/>);
- 1 collège et 1 lycée (source : annuaire de l'éducation nationale <http://www.education.gouv.fr/>);
- 1 hôpital local et deux foyers d'accueil pour personnes âgées ou EHPAD (Source : FINESS²) ;

Tableau 9 : établissements recevant du public sensible

Commune	Structure	Distance par rapport au site	Effectif
Boën-sur-Lignon	Ecole maternelle publique	1.3 km	90 à 100 élèves 8 adultes
Boën-sur-Lignon	Ecole primaire publique	1.3 km	190 à 210 élèves 9 adultes

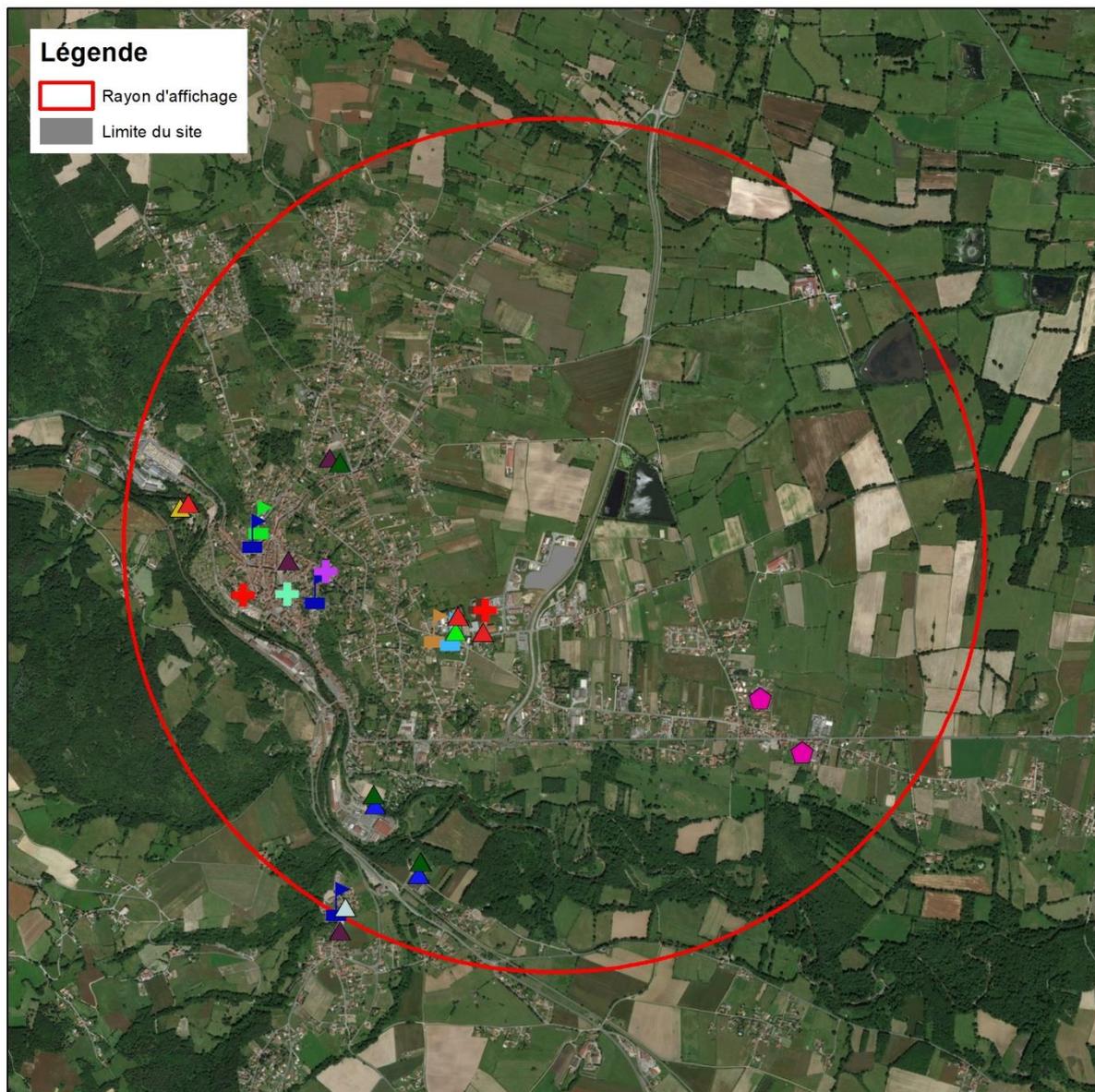
² Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux

Commune	Structure	Distance par rapport au site	Effectif
Boën-sur-Lignon	Ecole privée Les Tilleuls	1.1 km	60 à 80 élèves 6 adultes
Trelins	Ecole privée mixte	2 km	60 à 80 élèves 6 adultes
St Agathe la Bouterresse	Ecole Publique	3 km	100 à 120 élèves 10 adultes
Boën-sur-Lignon	Collège de l'Astrée	0.45 km	1000 élèves
Boën-sur-Lignon	CHU	0.3 km	200 lits
Boën-sur-Lignon	EHPAD du CHU	0.3 km	140 lits
Boën-sur-Lignon	FRPA l'Astrée	1.3 km	57 studios
St Agathe la Bouterresse	Crèche multi-accueil Pays de l'Astrée	1.4 km	20 places

32 équipements sportifs (source : <http://www.res.sports.gouv.fr/>) sont également recensés.

La Figure 3 permet de localiser l'ensemble de ces établissements et équipements.

Figure 3 : localisation des populations sensibles et des équipements sportifs



0 0.5 1 2 Kilomètres



Equipepents sportifs extérieurs

- Boucle de randonnée
- Court de tennis
- Piste d'athlétisme isolée
- Plateau EPS/Multisports/city-stades
- Skate park
- Terrain de boules
- Terrain de football

Etablissements de Santé

- Centres Hospitaliers
- Centres de Santé
- Etablissements d'Hébergement pour Personnes Âgées
- Hôpitaux Locaux

Ecoles / Collèges / Lycées

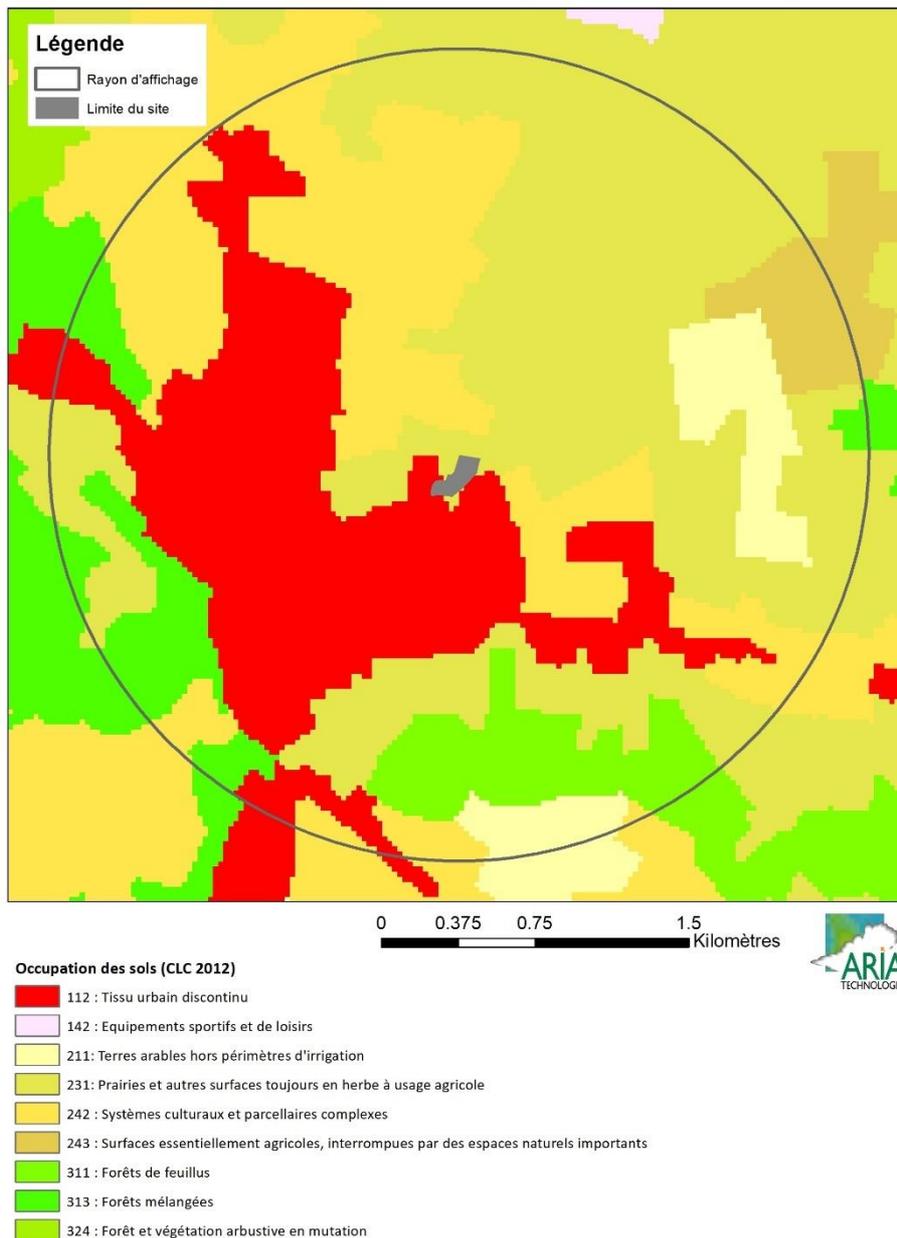
- COLLEGE
- ECOLE DE NIVEAU ELEMENTAIRE
- ECOLE MATERNELLE
- LYCEE D ENSEIGNEMENT GENERAL
- Crèches et accueils Petite Enfance

3.3 USAGES AUTOUR DU SITE

3.3.1 Occupation des sols

La zone d'étude est composée à la fois de zones urbanisées, et de zones agricoles ou forestières. Ces principales zones sont localisées sur la Figure 4 (données issues de la base CORINE Land Cover 2012³).

Figure 4 : occupation du sol (données CORINE Land Cover 2012)

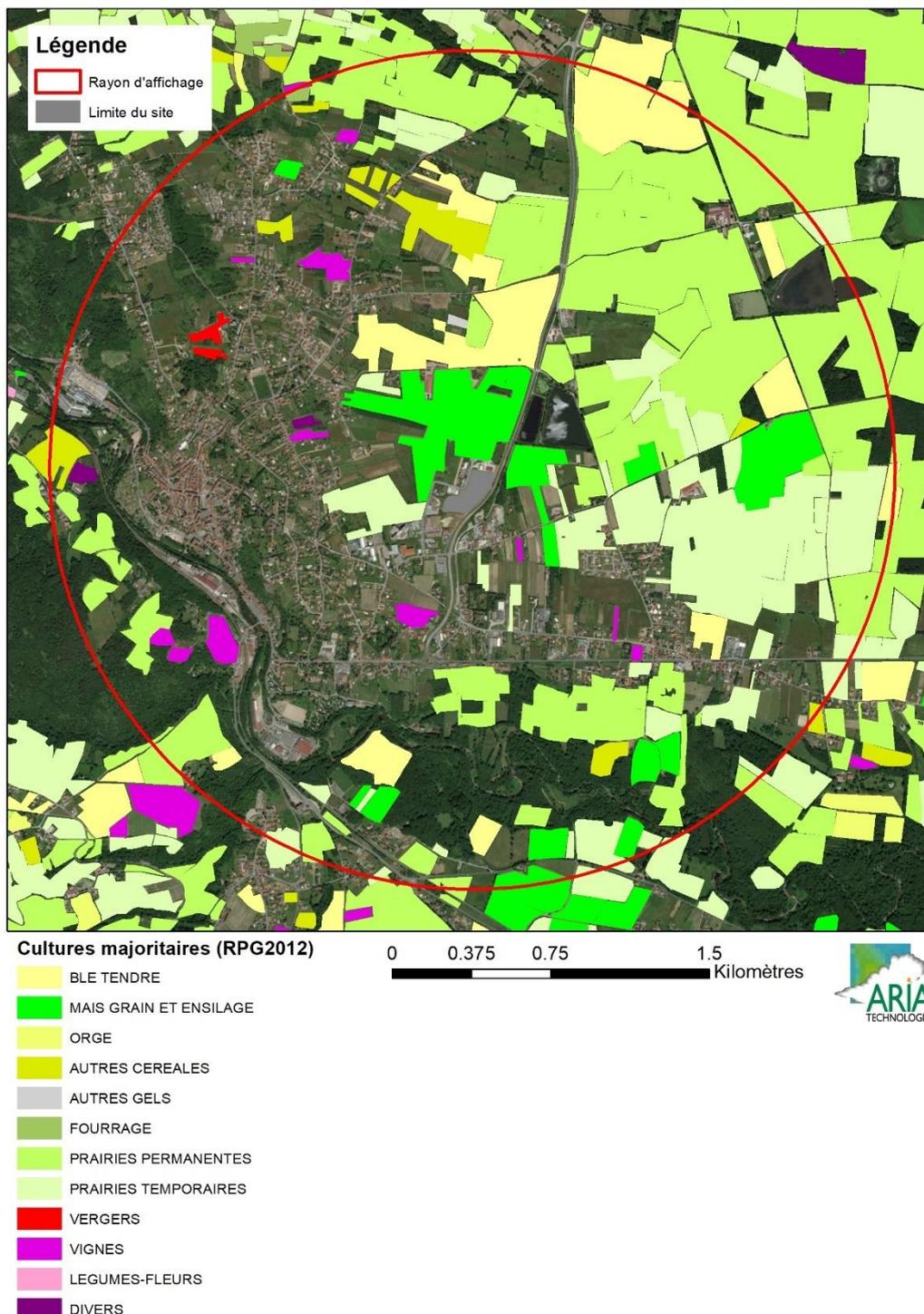


³ Les produits CORINE Land ont été réalisés avec un financement de l'Union européenne, dans le cadre du programme Copernicus, <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>

3.3.2 Usages agricoles

Afin d'avoir une présentation plus précise des zones de cultures, la Figure 5 présente les cultures majoritaires sur chaque îlot de cultures pour l'année 2012. Les cultures sont assez peu variées sur le domaine d'étude : on note la présence de cultures de céréales (blé, maïs, orge), la présence de prairies, de quelques vergers et de quelques parcelles de vignes.

Figure 5 : culture majoritaire sur chaque îlot de culture (données RPG 2012)



Le Tableau 10 présente les résultats du recensement général agricole 2010. Le recensement agricole offre un portrait instantané, complet et détaillé, du secteur de l'agriculture (population agricole,

surfaces végétales, y compris viticoles, effectifs animaux, moyens de production, activités annexes, etc.).

Tableau 10 : recensement agricole 2010 (recensement le plus récent disponible)

Communes	Orientation technico-économique de la commune	Exploitations agricoles ayant leur siège dans la commune	Superficie agricole utilisée en hectare	Cheptel en unité de gros bétail, tous aliments	Superficie en terres labourables en hectare	Superficie toujours en herbe en hectare
Arthun	Bovins mixte	13	762	813	318	444
Boën-sur-Lignon	Polyculture et polyélevage	5	63	90	s	s
Leigneux	Polyculture et polyélevage	5	214	327	130	65
Sainte-Agathe-la-Bouteresse	Bovins mixte	14	517	762	209	288
Trelins	Polyculture et polyélevage	14	296	472	177	104

s : donnée soumise au secret statistique

3.3.3 Activités industrielles et activités connexes

Les entreprises voisines, sont celles présentes sur la ZAC à savoir :

- Ateliers partagés ;
- Pompes funèbres de l'Astrée ;
- Technic-Toiture ;
- Marberie de l'Astrée ;
- Avia ;
- Bilstein France ;
- Astrée lavage ;
- M-DAO ;
- PGB 3 Modelage.

Il est souligné la présence de la société GATTE au-delà de la RD 3008 et d'une exploitation agricole située chemin de mallard à 450 mètres au Nord du site.

3.4 METEOROLOGIE

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, 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.

3.4.2 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.**

Les données météorologiques proviennent :

- des archives de simulation météo mondiale de meteoblue (qui couvrent le monde entier de 1985 à nos jours) pour les données de vent (vitesse et direction), température et pluie : il s'agit d'une extraction des données au niveau de la commune de Boën-sur-Lignon ;
- de la station Météo-France de St Etienne de Bouthéon pour les observations de nébulosité (couverture nuageuse).

Les données météorologiques utilisées sont des données horaires (1 mesure toutes les heures). Ce fichier comporte trois années de données : du 01/01/2015 au 31/12/2017.

3.4.3 Analyse météorologique

3.4.3.1 Définitions

Vent calme :

Les vents calmes sont des vents de vitesse nulle ou inférieure à 0,9 m/s, sans direction associée. Ils ne sont donc pas représentés sur la rose des vents.

Vent faible :

Les vents faibles sont des vents de vitesse inférieure à 2 m/s.

Classification des vents en fonction de leur vitesse :

Vitesse du vent V	Rose des vents
$0,9 \text{ m/s} \leq V < 1,5 \text{ m/s}$	1 m/s
$1,5 \text{ m/s} \leq V < 2,5 \text{ m/s}$	2 m/s
$2,5 \text{ m/s} \leq V < 6,5 \text{ m/s}$	3-6 m/s
$6,5 \text{ m/s} \leq V < 12,5 \text{ m/s}$	7-12 m/s
$V \geq 12,5 \text{ m/s}$	$\geq 13 \text{ m/s}$

3.4.3.2 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 pour la station de Boën-sur-Lignon calculée à partir des données horaires sur la période 01/01/2015 au 31/12/2017. Le Tableau 11 synthétise les fréquences d'occurrence par classe de vitesse, toutes directions confondues.

Figure 6 : rose des vents générale –Boën-sur-Lignon – 2015 à 2017 (3 ans)

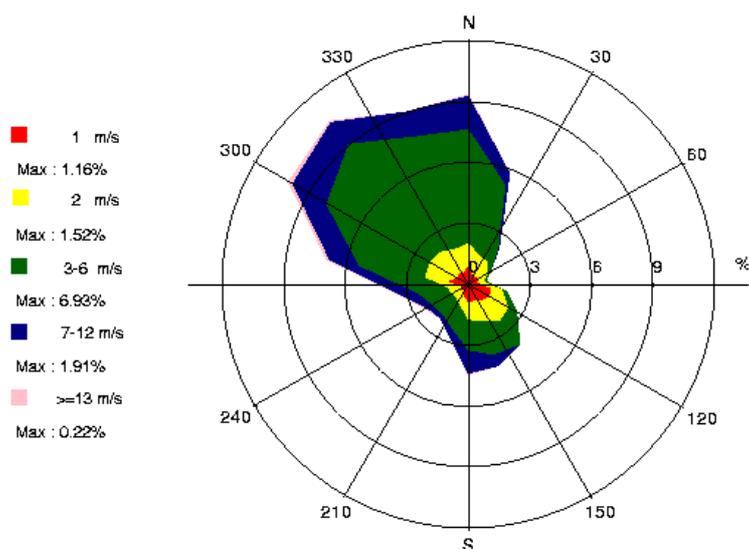


Tableau 11 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent toutes directions confondues

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 (%)	16.8%	12.2%	16.4%	42.2%	11.7%	0.8%

Sur la période retenue pour cette étude (du 01/01/2015 au 31/12/2017), les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

- les roses des vents montrent deux directions privilégiées :
 - une direction principale : vents du **nord-ouest** (50,8 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 280° et 360°⁴),
 - une direction secondaire : vents du **sud-est** (19,8 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 120° et 180°).

⁴ 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.

- sur l'ensemble des directions, les vents ont une vitesse moyenne de 3,4 m/s (12,1 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) représentent 29 % des observations dont 16,8 % 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 moins de 13 % des observations.

3.4.3.3 Stabilité atmosphérique

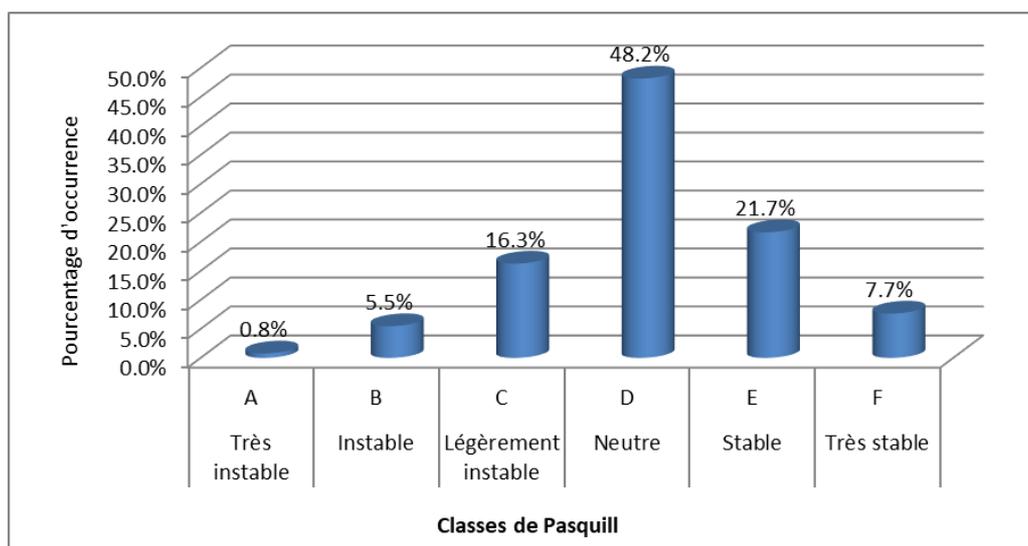
La stabilité de l'atmosphère est destinée à quantifier les propriétés diffuses de l'air dans les basses couches. Elle est souvent associée à la structure thermique de l'atmosphère : par exemple, les situations d'inversion thermique se produisent lorsque l'atmosphère est stable.

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 (environ 48%), ce qui est favorable pour la dispersion atmosphérique.

Les vents ont une vitesse moyenne d'environ 1,2 m/s en situation très stable - donc pénalisante pour la dispersion des émissions, tandis qu'en atmosphère neutre, elle est de 4,6 m/s.

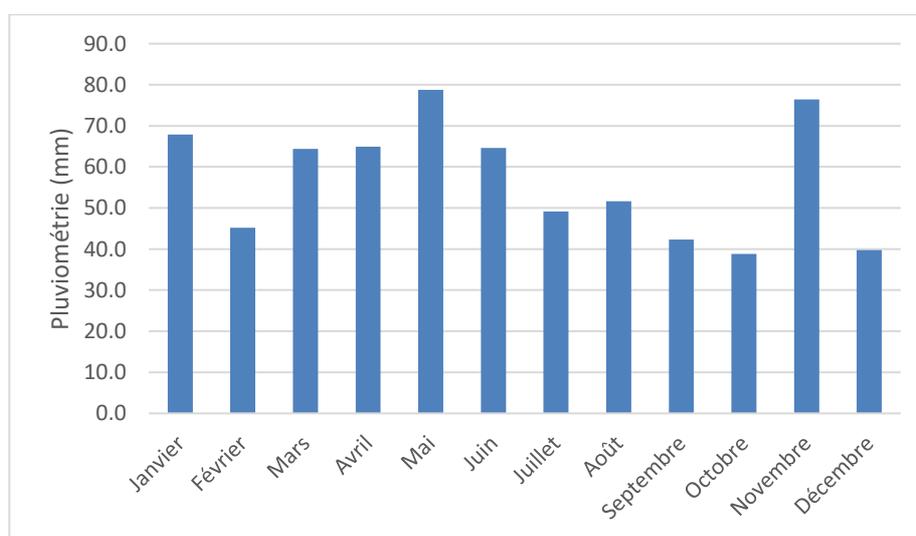
3.4.3.4 Pluviométrie

Dans le cadre de cette étude, nous avons tenu compte des données de pluviométrie sur Boën-sur-Lignon.

Tableau 12 : statistiques relatives à la pluviométrie - Boën-sur-Lignon

	Pluviométrie annuelle (mm)
2015	598.3
2016	818.2
2017	635.3
Moyenne	683.9

Figure 8 : variation moyenne mensuelle de la pluviométrie (période du 01/01/2015 au 31/12/2017 - Boën-sur-Lignon)



Notons qu'en moyenne sur la période étudiée (du 01/01/2015 au 31/12/2017), il est tombé environ 684 mm de pluie par an, l'année 2016 étant l'année la plus pluvieuse (cf. Tableau 12).

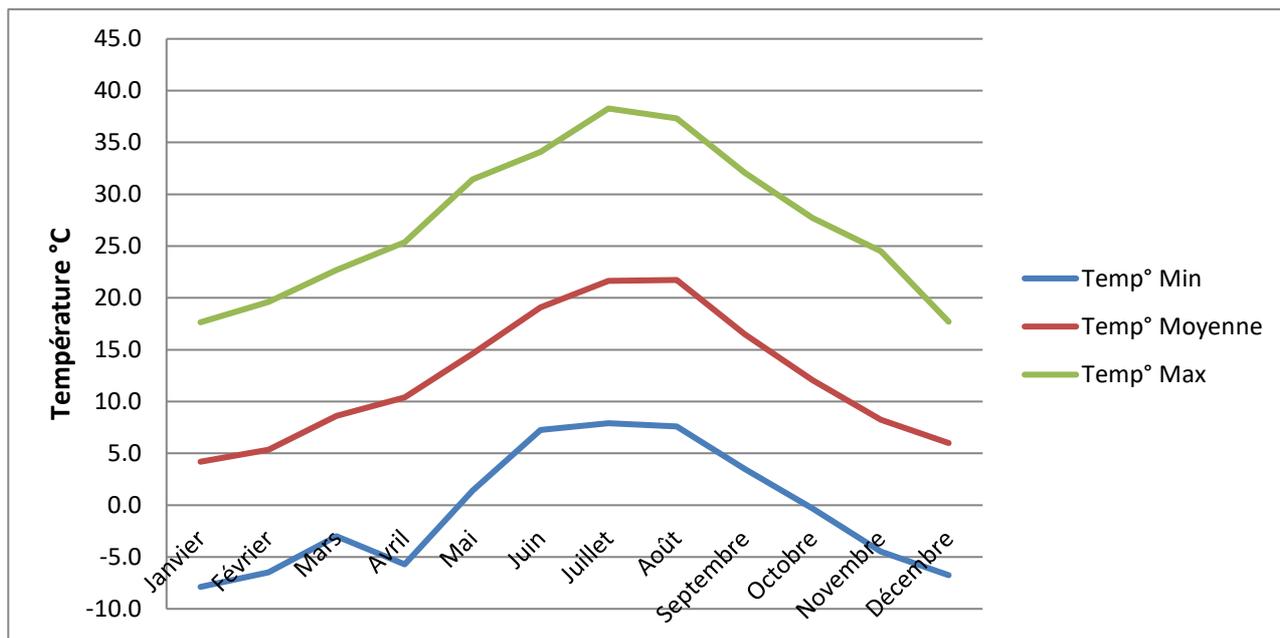
3.4.3.5 Températures

La température de l'air, dernier paramètre intervenant dans le processus de dispersion des polluants, est en moyenne de 13°C à Boën-sur-Lignon pour les trois années d'observations et varie peu au cours des trois années comme le montre le Tableau 13. La Figure 9 présente les variations moyennes mensuelles de la température minimale, moyenne et maximale sur la période du 01/01/2015 au 31/12/2017.

Tableau 13 : statistiques relatives à la température de l'air - Boën-sur-Lignon

	Température moyenne (°C)
2014	12.7
2015	12.2
2016	12.3
Moyenne	12.4

Figure 9 : variation moyenne mensuelle de la température (période du 01/01/2015 au 31/12/2017- Boën-sur-Lignon)



4. SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION

Compte tenu des rejets du site étudié (cf. paragraphe 2), la voie d'exposition à considérer en premier lieu est l'inhalation des substances émises à l'atmosphère.

L'exposition des personnes vivant au voisinage d'une installation industrielle 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. Cette voie d'exposition est donc conservée.

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'exposition⁵.

Compte tenu de la présence de prairies à proximité du site, l'élevage est possible dans la zone d'étude. C'est pourquoi la voie d'exposition par ingestion sera conservée pour les substances pouvant s'accumuler dans la chaîne alimentaire, à savoir le benzo(a)pyrène.

Ainsi, au regard des données locales relatives à la caractérisation des milieux (cf. paragraphe 3) :

- L'existence de jardins privés est possible : l'exposition par ingestion de fruits et légumes est possible et sera donc prise en compte dans cette étude.
- quelques élevages (professionnels) se trouvent sur la zone d'étude (présence de prairies). 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.

Les voies suivantes ne sont pas à étudier, car très minoritaires :

- l'inhalation de particules de sol remises en suspension dans l'air ;
- l'absorption cutanée des gaz et particules en suspension dans l'air ;
- l'ingestion d'animaux terrestres chassés dans la zone d'influence des rejets atmosphériques de l'installation.

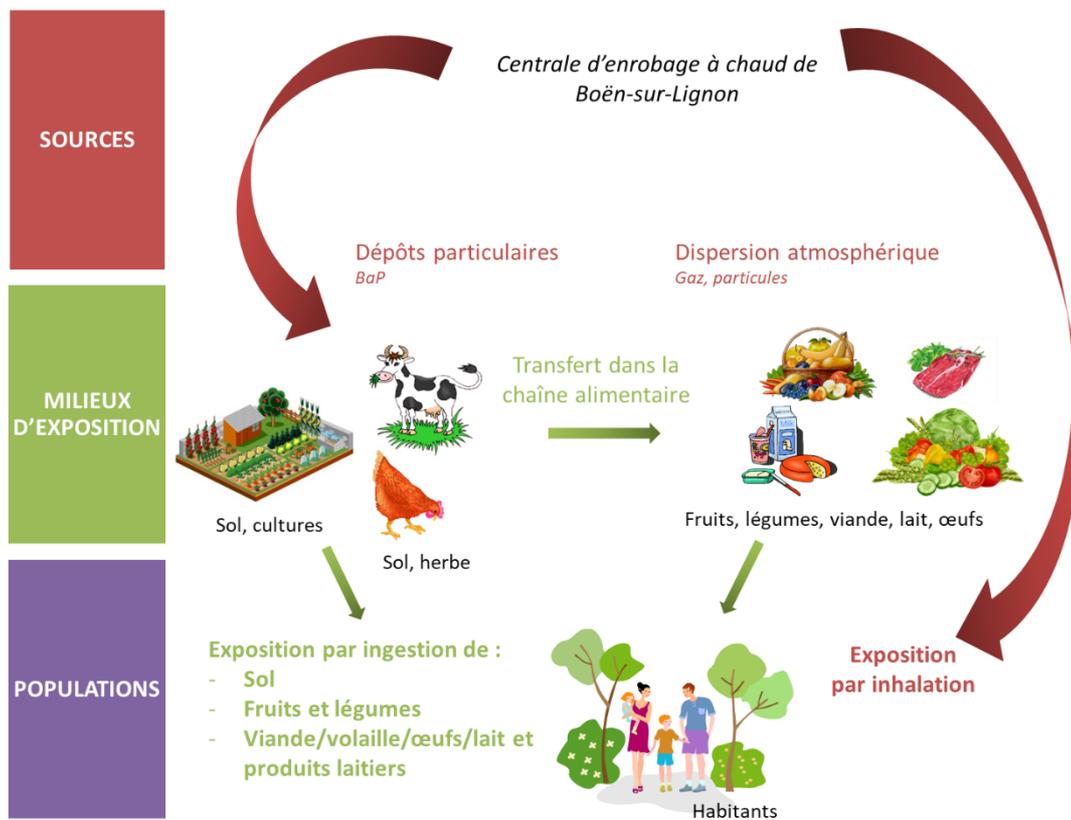
Compte tenu des rejets du site, des usages et des populations avoisinantes, les voies d'exposition retenues sont donc :

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

⁵ 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 transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ».

Le Schéma Conceptuel d'Exposition autour du site est présenté sur la Figure 10.

Figure 10 : schéma conceptuel d'exposition autour du site



5. EVALUATION PROSPECTIVE DES RISQUES SANITAIRES

5.1 CHOIX DES TRACEURS DE RISQUE, IDENTIFICATION DES DANGERS ET RELATIONS DOSE-REPONSE

5.1.1 Substances émises par le site

Les substances émises sont présentées dans le Tableau 14.

Tableau 14 : substances émises

Nom	N°CAS
Dioxyde d'azote (NO ₂)	10102-44-0
Poussières	nd
Monoxyde de carbone (CO)	630-08-0
Dioxyde de soufre (SO ₂)	05/09/7446
Benzo(a)pyrène	50-32-8
Benzène	71-43-2

5.1.2 Identification des dangers

L'étape d'identification des dangers présente la toxicité des composés émis par les installations. 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 de risques sanitaires, seule l'exposition chronique sera étudiée.**

A partir de données trouvées dans la littérature, le Tableau 16 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, l'EPA et l'Union Européenne. Le Tableau 15 rappelle la définition des différentes classifications.

Tableau 15 : classifications CIRC, US-EPA et Union Européenne pour les effets cancérigènes

CIRC - OMS	US EPA	Union Européenne
1 : cancérigènes pour l'homme	A : cancérigènes pour l'homme (preuves suffisantes chez l'homme)	1A : Substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est avéré.
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)	1B : Substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé.
	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	2 : Substances suspectées d'être cancérigènes pour l'homme

CIRC - OMS	US EPA	Union Européenne
	(preuves insuffisantes chez l'homme et chez l'animal)	
4 : absence connue d'effets cancérogènes chez l'homme et chez l'animal	E : absence connue d'effets cancérogènes chez l'homme et chez l'animal	

Tableau 16 : identification des dangers par substances

Nom	N°CAS	Effets/Organes cibles	Voies d'exposition principales	Cancérogénicité		
				CIRC	EPA	UE
Dioxyde d'azote (NO ₂)	10102-44-0	Système respiratoire	Inhalation	-	-	-
Poussières	nd	Système respiratoire	Inhalation	-	-	-
Monoxyde de carbone (CO)	630-08-0	Système respiratoire	Inhalation	-	-	-
Dioxyde de soufre (SO ₂)	05/09/7446	Système respiratoire	Inhalation	-	-	-
Benzène	71-43-2	Système sanguin et immunitaire	Inhalation	1	A	1A
benzo(a)pyrène	50-32-8	Développement	Inhalation /Ingestion	1	A	1B

5.1.3 Etude des relations dose-réponse

5.1.3.1 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 cancérogènes 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 µg/m³ (durant toute sa vie⁶ 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 µg/m³ 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.

⁶ conventionnellement prise égale à 70 ans

5.1.3.2 Critères de choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

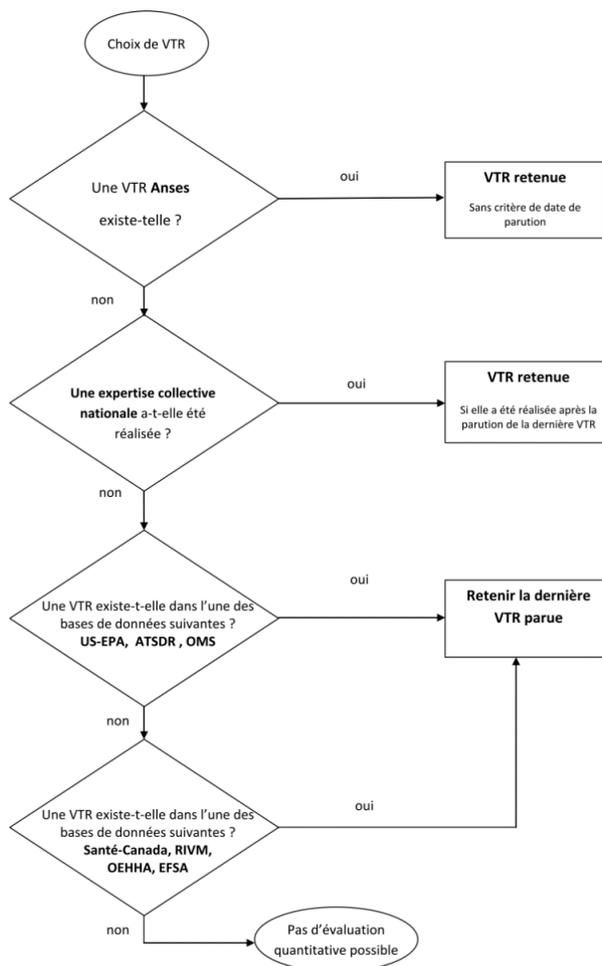
Pour chaque substance sélectionnée précédemment, des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ont été recherchées auprès des différentes instances internationales suivantes :

- 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** 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 11 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.

Figure 11 : logigramme pour le choix des VTR (DGS)



5.1.3.3 Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Le Tableau 17 présente pour chaque substance émise la disponibilité des Valeurs Toxicologiques de Référence dans la littérature consultée.

Pour les substances gazeuses, seule la voie par inhalation est étudiée. Les VTR par ingestion ne sont donc pas recherchées pour ces substances.

Tableau 17 : disponibilité des Valeurs Toxicologiques de Référence (exposition chronique)

Nom	N°CAS	VTR à seuil		VTR sans seuil	
		Voie respiratoire	Voie digestive	Voie respiratoire	Voie digestive
Dioxyde d'azote (NO₂)	10102-44-0				
Poussières PM10	-				
Poussières PM2.5	-				
Monoxyde de carbone (CO)	630-08-0				
Dioxyde de soufre (SO₂)	05/09/7446				
Benzène	71-43-2	x		x	
benzo(a)pyrène	50-32-8	x	x	x	x

Cases grisées : VTR par ingestion non recherchée car substance gazeuse (risque par voie respiratoire uniquement)

NO₂, SO₂, poussières (PM10, PM2,5) : la littérature ne fournit pas de VTR pour ces substances, il n'existe que des valeurs guides de l'OMS. Comme le rappelle la note d'information de la DGS (octobre 2014), l'évaluateur doit s'abstenir d'utiliser des valeurs guides de qualité des milieux. Ces substances ne sont donc pas retenues comme traceur de risque. Seules les concentrations dans l'air sont comparées aux valeurs recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé. Le Tableau 18 présente les valeurs guides retenues pour les poussières (PM10, PM2,5), les NO_x et le SO₂ en l'absence de VTR.

Monoxyde de carbone : la littérature ne fournit pas de VTR. Cette substance ne sera donc pas retenue dans la suite de l'étude.

Les fiches toxicologiques pour chaque substance sont présentées en Annexe 7.

A partir des VTR disponibles dans la littérature consultée, les Tableau 19 et Tableau 20 résument les VTR retenues pour cette étude.

Tableau 18 : valeurs guides

Composé	Voie d'exposition	Valeurs guides	Source et Date	Organe cible / Effets critiques	Type d'étude
NO ₂	Inhalation	40 µg/m ³ (valeur guide moyenne annuelle)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme
PM ₁₀	Inhalation	20 µg/m ³ (valeur guide moyenne annuelle)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme
PM _{2.5}	Inhalation	10 µg/m ³ (valeur guide moyenne annuelle)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme
SO ₂	Inhalation	50 µg/m ³ valeur guide moyenne annuelle)	OMS 2000	Appareil respiratoire	Homme

Tableau 19 : 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	Justification du choix
benzo(a)pyrène	Inhalation	Développement	Développement embryonnaire	2.00E-03	µg/m ³	US-EPA	2017	VTR la plus récente
benzo(a)pyrène	Ingestion	Développement		3.00E-04	mg/kg/j	US-EPA	2017	VTR la plus récente
Benzène	Inhalation	Système immunitaire	-	10	µg/m ³	ATSDR	2007	VTR la plus récente dans les bases ATSDR, EPA, OMS

Tableau 20 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques sans seuil

Substance	Voie d'exposition	ERU		Référence		Justification du choix
benzo(a)pyrène	Inhalation	6.00E-04	(µg/m ³) ⁻¹	US-EPA	2017	VTR la plus récente
benzo(a)pyrène	Ingestion	1	(mg/kg/j) ⁻¹	USEPA	2017	VTR la plus récente
Benzène	Inhalation	2.60E-05	(µg/m ³) ⁻¹	ANSES	2013	VTR ANSES prioritaire

5.1.4 Choix des traceurs de risque

Les substances retenues comme traceurs de risques sont donc les suivantes :

- **Benzo(a)pyrene;**
- **Benzène.**

Les NO_x, le SO₂ et les poussières sont également retenus car ce sont des traceurs traditionnels pour les installations de combustion. Cependant, ils ne feront pas l'objet de calculs des risques car les valeurs guides (OMS) utilisées pour évaluer l'impact sur la santé sont des valeurs de gestion et non des valeurs toxicologiques. Les concentrations modélisées seront simplement comparées à ces valeurs guides.

5.3 ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

Afin d'estimer les concentrations et dépôts dans l'environnement **attribuables à la centrale d'enrobage à chaud pour le scénario moyen et le scénario maximal**, une étude de dispersion a été réalisée pour les traceurs de risques retenus (cf. paragraphe 5.1).

5.3.1 Données d'entrée

5.3.1.1 Domaine d'étude

Le domaine d'étude retenu est un carré de 5 km sur 5 km centré sur le site

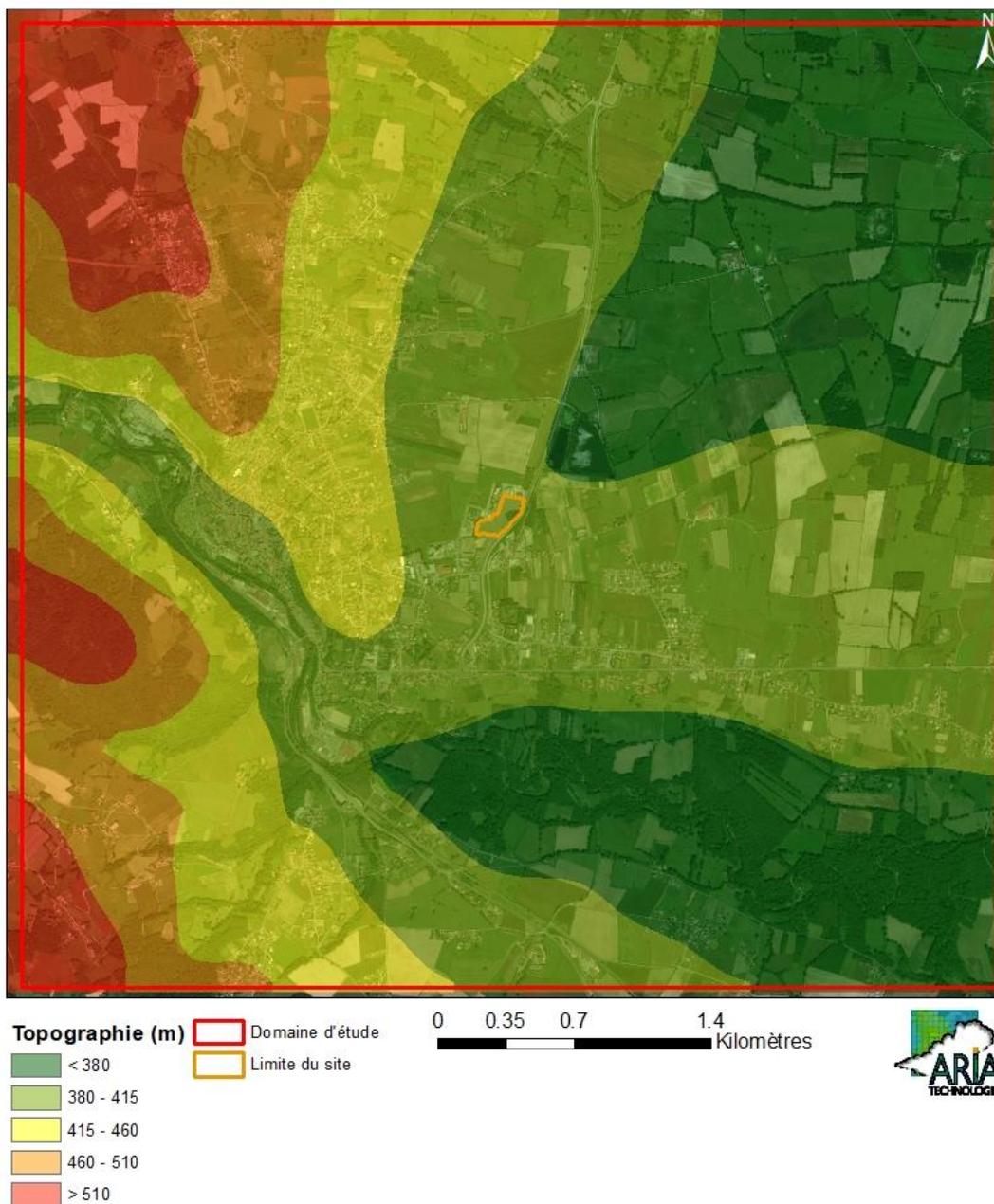
Figure 12 : carte du domaine d'étude



5.3.1.2 Topographie

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 100 mètres. La Figure 13 présente une vue 2D de la topographie sur le domaine d'étude. Le relief est compris entre 354 et 586m.

Figure 13 : topographie du domaine d'étude (source : IGN)



5.3.1.3 Météorologie

Les données météorologiques proviennent :

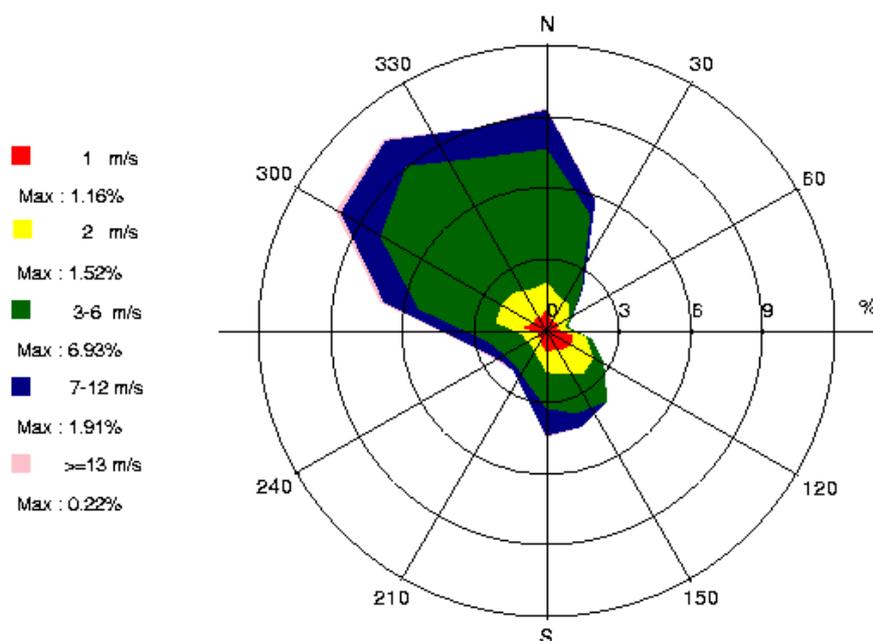
- des archives de simulation météo mondiale de meteoblue (qui couvrent le monde entier de 1985 à nos jours) pour les données de vent (vitesse et direction), température et pluie : il s'agit d'une extraction des données au niveau de la commune de Boën-sur-Lignon ;
- de la station Météo-France de St Etienne de Bouthéon pour les observations de nébulosité (couverture nuageuse).

Les données météorologiques utilisées sont des données horaires (1 mesure toutes les heures). Ce fichier comporte trois années de données : du 01/01/2015 au 31/12/2017. Ce choix correspond aux recommandations des instances administratives (DREAL, DDASS, INERIS) : en effet, l'INERIS conseille d'utiliser des données horaires ou trihoraires sur 3 ans minimum dans son guide méthodologique relatif aux évaluations des risques sanitaires⁷.

L'analyse détaillée de ces données est présentée au paragraphe 3.4. La Figure 14 rappelle la rose des vents à Boën-sur-Lignon sur les trois années retenues pour cette étude.

Figure 14 : rose des vents

Boën-sur-Lignon (du 01/01/2015 au 31/12/2017)



5.3.1.4 Emissions

Les émissions prises en compte correspondent aux émissions présentées au paragraphe 2.

⁷ « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées », INERIS, août 2013

5.3.2 Détermination des concentrations dans l'air et des dépôts au sol

5.3.2.1 Présentation du logiciel de dispersion et paramétrages

5.3.2.1.1 Présentation générale du logiciel

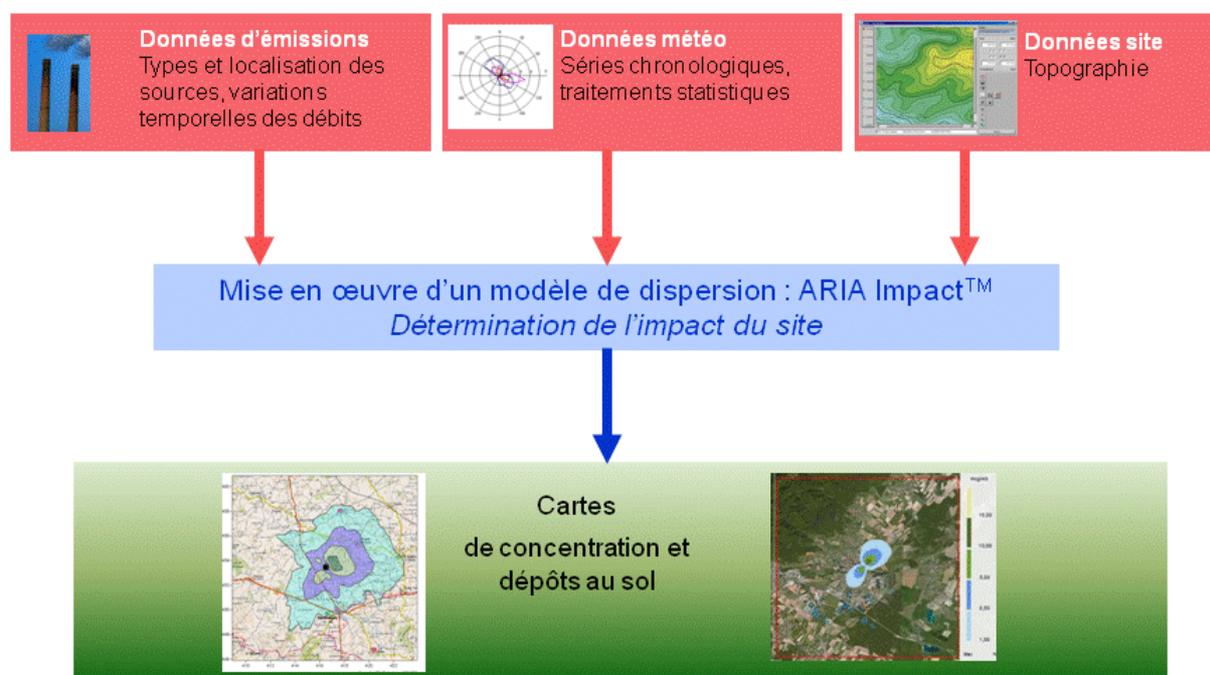
Le modèle utilisé pour cette analyse statistique est le logiciel ARIA Impact, version 1.8. Ce logiciel permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet de simuler plusieurs 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 août 2013).

Une description détaillée du modèle est présentée en Annexe 2.

Le diagramme ci-dessous schématise la méthodologie.



5.3.2.1.2 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 en zone rurale) ;
- 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 et un lessivage du panache par la pluie ;
- une prise en compte des vents calmes ;
- une maille de calcul de 50 mètres ;
- les émissions présentées au paragraphe 2.

5.3.2.1.2.1 Calcul des dépôts au sol

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

- **Dépôts secs** : les particules très fines et les gaz se déposent sur les surfaces par divers processus biologiques, chimiques et physiques. Le paramètre qui influence les dépôts secs est la vitesse de dépôt, exprimée en m/s. Cette vitesse permet de tenir compte de la capacité du sol à retenir le polluant qui se dépose. Ces vitesses ont fait l'objet de plusieurs recherches et plusieurs références bibliographiques existent sur ces données.
- **Dépôts humides** : les dépôts humides correspondent aux dépôts de polluant au sol entraînés par la pluie. Les calculs de dispersion qui intègrent le lessivage par la pluie prennent en compte un coefficient de lessivage exprimé en s^{-1} , correspondant à la proportion du polluant qui est entraîné par la pluie pendant 1 seconde.

5.3.2.1.2.2 Caractéristiques des espèces

Le Tableau 21 résume les valeurs utilisées dans le cadre de cette étude pour le calcul des dépôts.

Tableau 21 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées

Polluant	Phase du polluant	Vitesse de dépôt sec (m/s)	Coefficient de lessivage (s^{-1})	Diamètre de particules (μm)	Source biblio.
Oxydes d'azote (NO_x)	Gaz	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0	-
Dioxyde de soufre (SO₂)	Gaz	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0	[1]
Poussières (PM10)	Particules	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	10	[3]
Poussières (PM2,5)	Particules	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	2,5	[2]
Benzène	Gaz	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0	-
Benzo(a)pyrène	Particules	$5 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	1,3	-

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

[2] WGE RIVM report n° 259101011/2002 : Preliminary modelling and mapping of critical loads for cadmium and lead in Europe JP Hettelingh, J. Slootweg, M. Posch (eds.) S. Dutchak, I Ilyin

[3] Underwood, AEA Technology, Harwell, 2001 : Review of Deposition Velocity and washout coefficient

5.3.2.2 Présentation des résultats

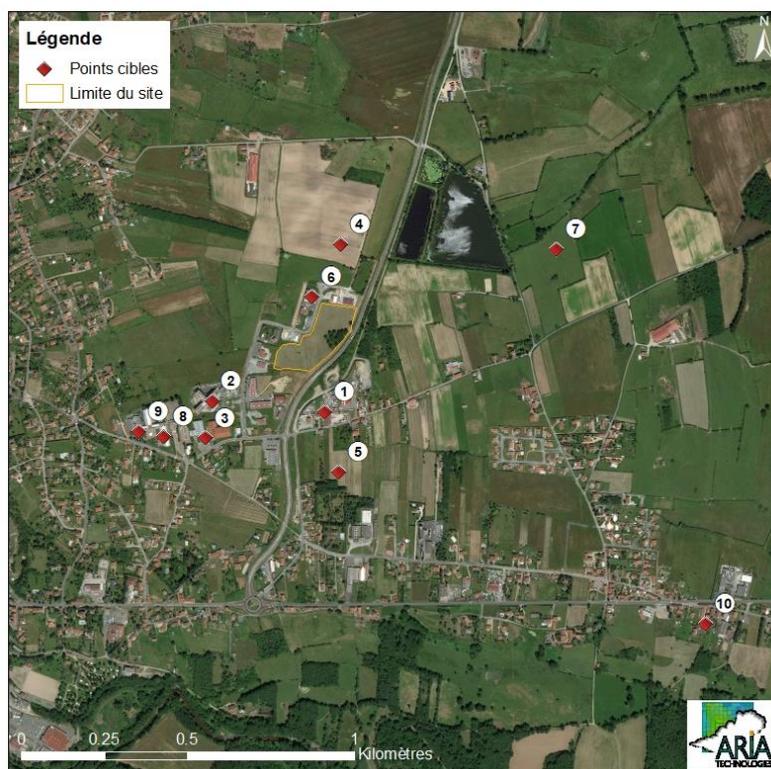
Les résultats sont exprimés sous forme de :

- 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽⁸⁾ et le $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ pour les dépôts au sol.

Les résultats sont également présentés au niveau de points cibles (premières habitations autour du site et points sensibles) présentés sur la Figure 15.

Figure 15 : localisation des points cibles



Points cibles	
1	Habitations sud-est
2	CHU
3	Ecole
4	Zone de culture nord
5	Zone de culture sud
6	Zone d'activité
7	Zone de culture est
8	Lycée
9	Collège
10	Crèche

⁸ microgramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \mu\text{g} = 1.10^{-6} \text{ g}$

5.3.2.3 Réglementation de la qualité de l'air

Dans le cadre de cette étude, seules les concentrations en moyenne annuelle sont calculées. Ces grandeurs sont comparables aux valeurs réglementaires de qualité de l'air exprimées en moyenne annuelle uniquement. Le Tableau 22 rappelle ces valeurs réglementaires pour la qualité de l'air⁹.

Tableau 22 : réglementation en vigueur en France pour la santé humaine

Substances	Réglementation française	
	Objectif de qualité	Valeur limite (ou Valeur Cible)
Particules fines <10 µm (PM10)	En moyenne annuelle : 30 µg/m ³	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ En moyenne journalière : 50 µg/m ³ (à ne pas dépasser plus de 35 jours par an = centile 90,4)
Particules fines <2,5 µm (PM2.5)	En moyenne annuelle : 10 µg/m ³	En moyenne annuelle : 25 µg/m ³
Dioxyde d'azote (NO₂)	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³	En moyenne horaire : 200 µg/m ³ (à ne pas dépasser plus de 18h par an = centile 99,8)
Dioxyde de soufre (SO₂)	En moyenne annuelle : 50 µg/m ³	En moyenne horaire : 350 µg/m ³ (à ne pas dépasser plus de 24 heures par an = centile 99,7) En moyenne journalière : 125 µg/m ³ (à ne pas dépasser plus de 3 jours par an = centile 99,2)
Benzène	En moyenne annuelle : 2 µg/m ³	
Benzo(a)pyrène		Valeur cible : 1 ng/m ³

- **Objectif de qualité** : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme, 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** : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé sur la base des connaissances scientifiques à ne pas dépasser dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble ;
- **Valeur cible** : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné.

⁹ Valeurs réglementaires françaises du Code de l'environnement (Livre II : Milieux Physiques, Titre II : Air et Atmosphère, relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites).

5.3.2.4 Concentrations en moyenne annuelle

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

Les Tableau 23 et Tableau 24 présentent les valeurs calculées en moyenne annuelle :

- au point géographique le plus exposé du domaine d'étude en dehors des limites du site;
- au niveau des points cibles présentés précédemment (cf. paragraphe 5.3.2.2).

Il est à noter que les concentrations en benzène et en b(a)p sont identiques pour les deux scénarios étudiés conformément aux émissions en sortie de cheminée.

Quel que soit le scénario (maximal ou moyen), **les concentrations en moyenne annuelle** sont inférieures aux valeurs limites française de la qualité de l'air pour toutes les substances lorsqu'elles existent. Parmi les points cibles étudiés, le point 1 (habitations sud-est) est le plus exposé.

Au point géographique le plus exposé les concentrations moyennes annuelles calculées représentent au maximum :

- 25% de la valeur cible pour le benzo(a)pyrène ;
- 23% de l'objectif de qualité pour les poussières assimilées à des PM_{2,5} ;
- 13% de l'objectif de qualité pour le SO₂ ;
- 11% de l'objectif de qualité pour les oxydes d'azotes assimilés à du NO₂ ;
- 8% de l'objectif de qualité pour les poussières assimilées à des PM₁₀ ;
- 1% de l'objectif de qualité pour le benzène.

Les Figure 16 et Figure 17 présentent la carte de concentration en moyenne annuelle sur le domaine d'étude pour les oxydes d'azote. Les aplats colorés montrent les zones où les concentrations au niveau du sol sont comprises entre deux valeurs, par exemple, les zones en « bleu clair » sur la Figure 16 correspondent à des concentrations en oxydes d'azote (assimilés au NO₂) comprises entre 1 et 1,5 µg/m³. Les cartes pour les autres polluants sont présentées en Annexe 3.

Les cartographies reflètent la rose des vents et montrent que les concentrations les plus élevées sont situées :

- au sud à environ 100m du site, dans une zone habitée,
- secondairement au nord à environ 200m du site.

Tableau 23 : concentrations en moyenne annuelle au niveau des points cibles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – scénario maximal

Substances		BaP	Benzène	NOx	PM10	PM2.5	SO2
Zone la plus impactée hors site		2.5E-04	1.3E-02	4.58	2.51	2.32	6.68
1	Habitations sud-est	2.5E-04	1.3E-02	4.58	2.51	2.32	6.68
2	CHU	9.3E-05	4.7E-03	1.71	0.97	0.86	2.47
3	Ecole	9.7E-05	4.9E-03	1.78	1.00	0.90	2.57
4	Zone de culture nord	6.2E-05	3.1E-03	1.14	0.64	0.58	1.66
5	Zone de culture sud	1.9E-04	9.3E-03	3.39	1.88	1.71	4.92
6	Zone d'activité	6.1E-05	3.0E-03	1.11	0.64	0.57	1.62
7	Zone de culture est	2.4E-05	1.2E-03	0.43	0.24	0.22	0.63
8	Lycée	7.7E-05	3.9E-03	1.41	0.77	0.70	2.01
9	Collège	7.3E-05	3.6E-03	1.33	0.70	0.66	1.89
10	Crèche	2.1E-05	1.0E-03	0.38	0.18	0.18	0.53
<i>Rappel Réglementation Qualité de l'air</i>		$1.10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3 *$	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

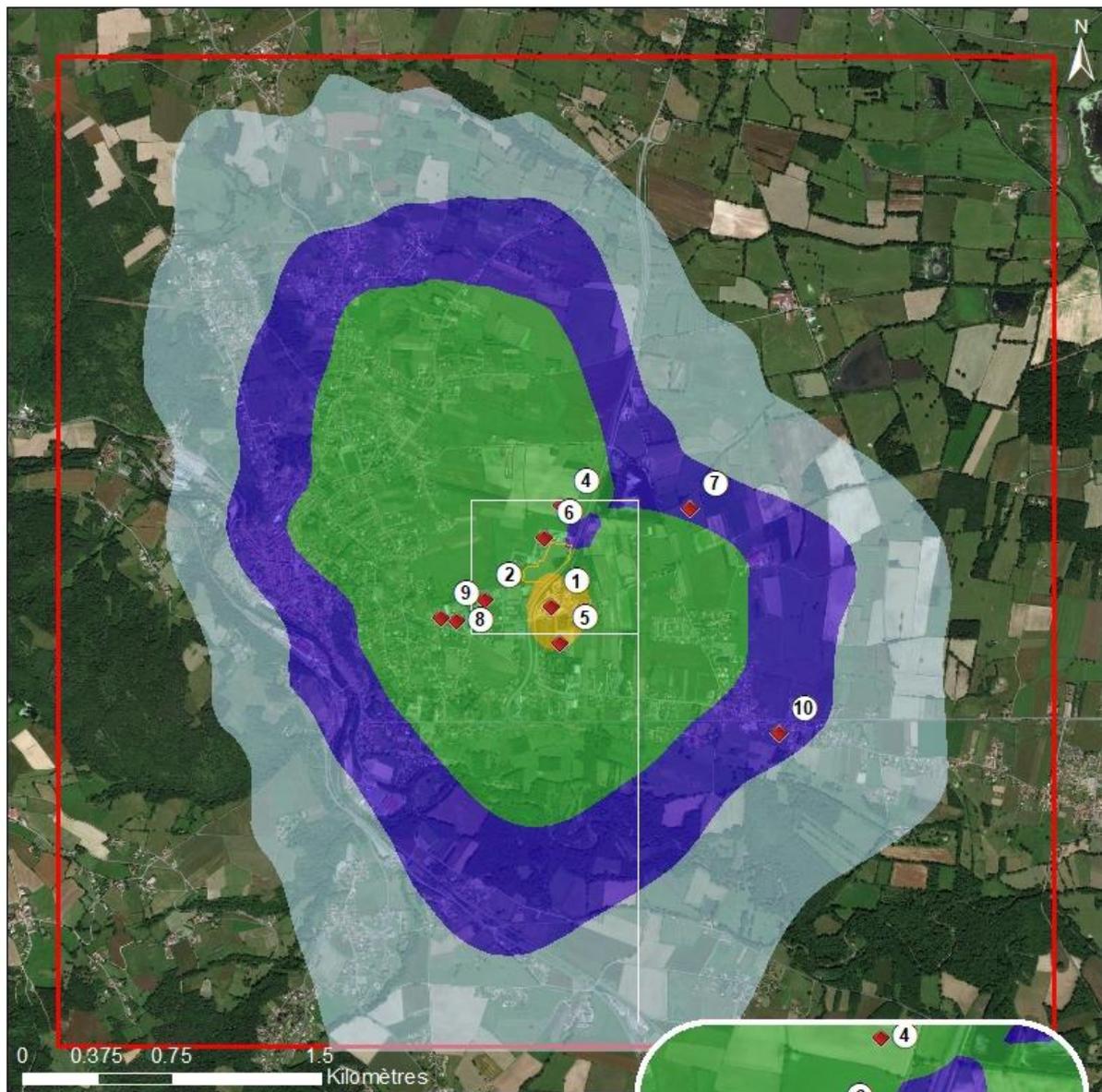
**valeur cible*

Tableau 24 : concentrations en moyenne annuelle au niveau des points cibles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – scénario moyen

Substances		BaP	Benzène	NOx	PM10	PM2.5	SO2
Zone la plus impactée hors site		2.5E-04	1.3E-02	0.67	0.36	0.33	0.34
1	Habitations sud-est	2.5E-04	1.3E-02	0.67	0.36	0.33	0.34
2	CHU	9.3E-05	4.7E-03	0.25	0.14	0.12	0.13
3	Ecole	9.7E-05	4.9E-03	0.26	0.14	0.13	0.13
4	Zone de culture nord	6.2E-05	3.1E-03	0.17	0.09	0.08	0.08
5	Zone de culture sud	1.9E-04	9.3E-03	0.50	0.27	0.24	0.25
6	Zone d'activité	6.1E-05	3.0E-03	0.16	0.09	0.08	0.08
7	Zone de culture est	2.4E-05	1.2E-03	0.06	0.03	0.03	0.03
8	Lycée	7.7E-05	3.9E-03	0.21	0.11	0.10	0.10
9	Collège	7.3E-05	3.6E-03	0.20	0.10	0.09	0.10
10	Crèche	2.1E-05	1.0E-03	0.06	0.03	0.03	0.03
<i>Rappel Réglementation Qualité de l'air</i>		$1.10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3 *$	$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

**valeur cible*

Figure 16 : carte de concentration en moyenne annuelle en oxyde d'azote – scénario maximal



Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

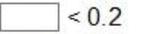
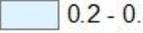
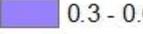
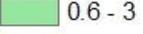
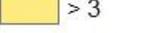
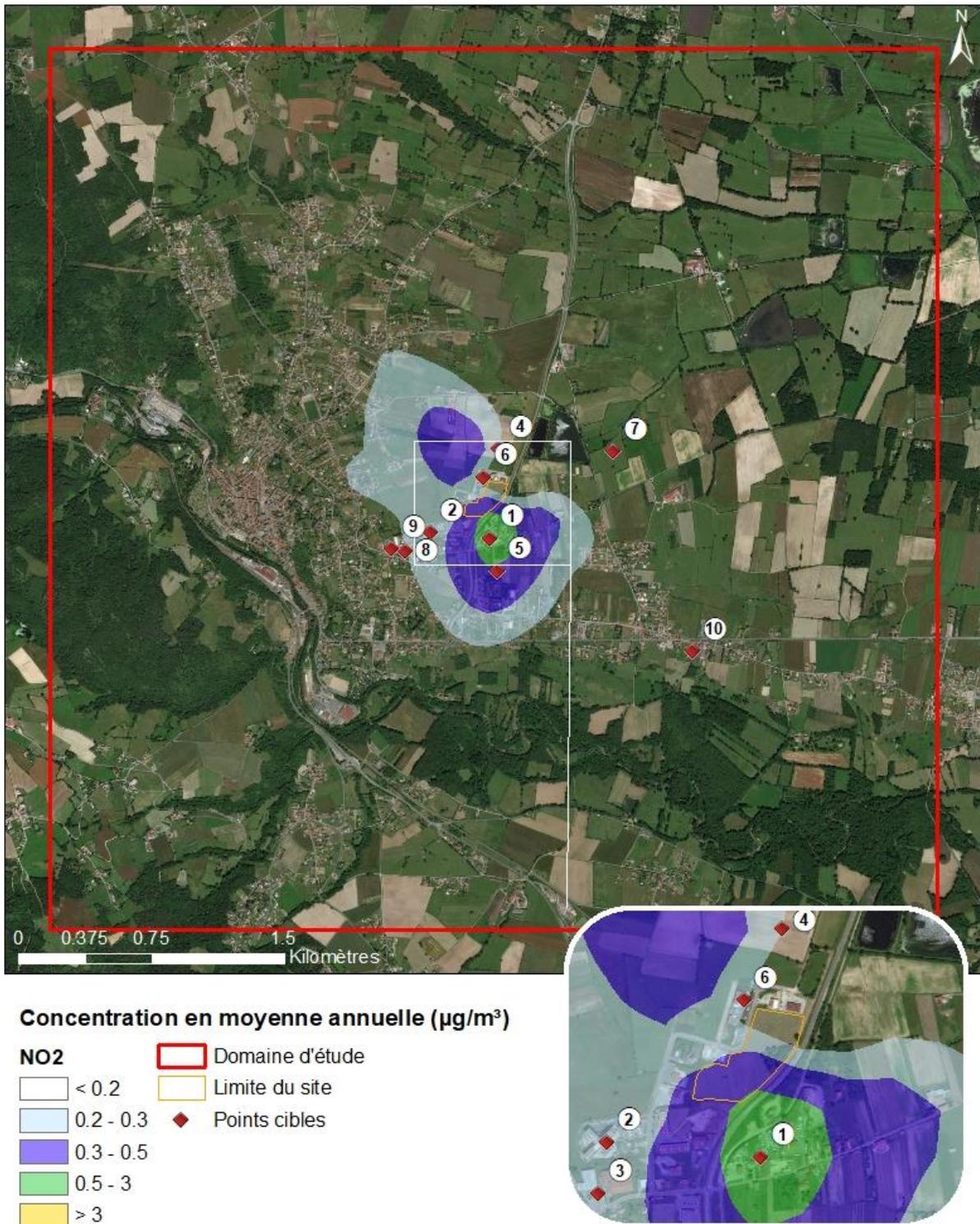
NO2	 Domaine d'étude
 < 0.2	 Limite du site
 0.2 - 0.3	 Points cibles
 0.3 - 0.6	
 0.6 - 3	
 > 3	



Figure 17 : carte de concentration en moyenne annuelle en oxyde d'azote – scénario moyen



5.3.2.5 Dépôts au sol

Les résultats de dépôts au sol vont permettre de fournir les éléments nécessaires pour évaluer les risques par ingestion.

Les Tableau 25 et Tableau 26 présentent les dépôts totaux pour les substances particulières :

- au point géographique le plus exposé du domaine d'étude en dehors des limites du site;
- au niveau des points cibles présentés précédemment (cf. paragraphe Annexe 5).

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 Suisse : 200 mg/m²/jour = 730 kg/ha/an
- l'Allemagne : 350 mg/ m²/jour = 1 270 kg/ha/an

Les valeurs obtenues pour les poussières au niveau de la zone la plus exposée en dehors des limites du site sont inférieures à ces valeurs limites admissibles. Il en est de même au niveau de la zone habitée la plus exposée (point 1 – habitations sud-est).

Tableau 25 : dépôts totaux au sol moyens annuels (µg/m²/s) – scénario maximal

Substances		BaP	PM10	PM2.5
Zone la plus impactée hors site		1.4E-07	0.036	0.015
1	Habitations sud-est	1.4E-07	0.036	0.015
2	CHU	5.0E-08	0.014	0.005
3	Ecole	5.2E-08	0.014	0.006
4	Zone de culture nord	4.1E-08	0.011	0.004
5	Zone de culture sud	9.8E-08	0.026	0.011
6	Zone d'activité	6.1E-08	0.019	0.006
7	Zone de culture est	1.5E-08	0.004	0.002
8	Lycée	4.1E-08	0.011	0.004
9	Collège	3.9E-08	0.010	0.004
10	Crèche	1.2E-08	0.003	0.001

Tableau 26 : dépôts totaux au sol moyens annuels (µg/m²/s) – scénario moyen

Substances		BaP	PM10	PM2.5
Zone la plus impactée hors site		1.4E-07	5.1E-03	2.1E-03
1	Habitations sud-est	1.4E-07	5.1E-03	2.1E-03
2	CHU	5.0E-08	1.9E-03	7.7E-04
3	Ecole	5.2E-08	2.0E-03	7.9E-04
4	Zone de culture nord	4.1E-08	1.6E-03	5.9E-04
5	Zone de culture sud	9.8E-08	3.7E-03	1.5E-03
6	Zone d'activité	6.1E-08	2.6E-03	7.9E-04
7	Zone de culture est	1.5E-08	5.6E-04	2.1E-04
8	Lycée	4.1E-08	1.5E-03	6.2E-04
9	Collège	3.9E-08	1.4E-03	5.8E-04
10	Crèche	1.2E-08	4.0E-04	1.7E-04

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" 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 soit 3 650 kg/ha/an. Cette valeur est très élevée comparée aux valeurs obtenues par les simulations.

Les Figure 18 et Figure 19 présentent la carte des dépôts sur le domaine d'étude pour les poussières (PM10). Les dépôts maximaux se retrouvent principalement au sud du site.

Figure 18 : carte de dépôts en poussières (PM10) – scénario maximal

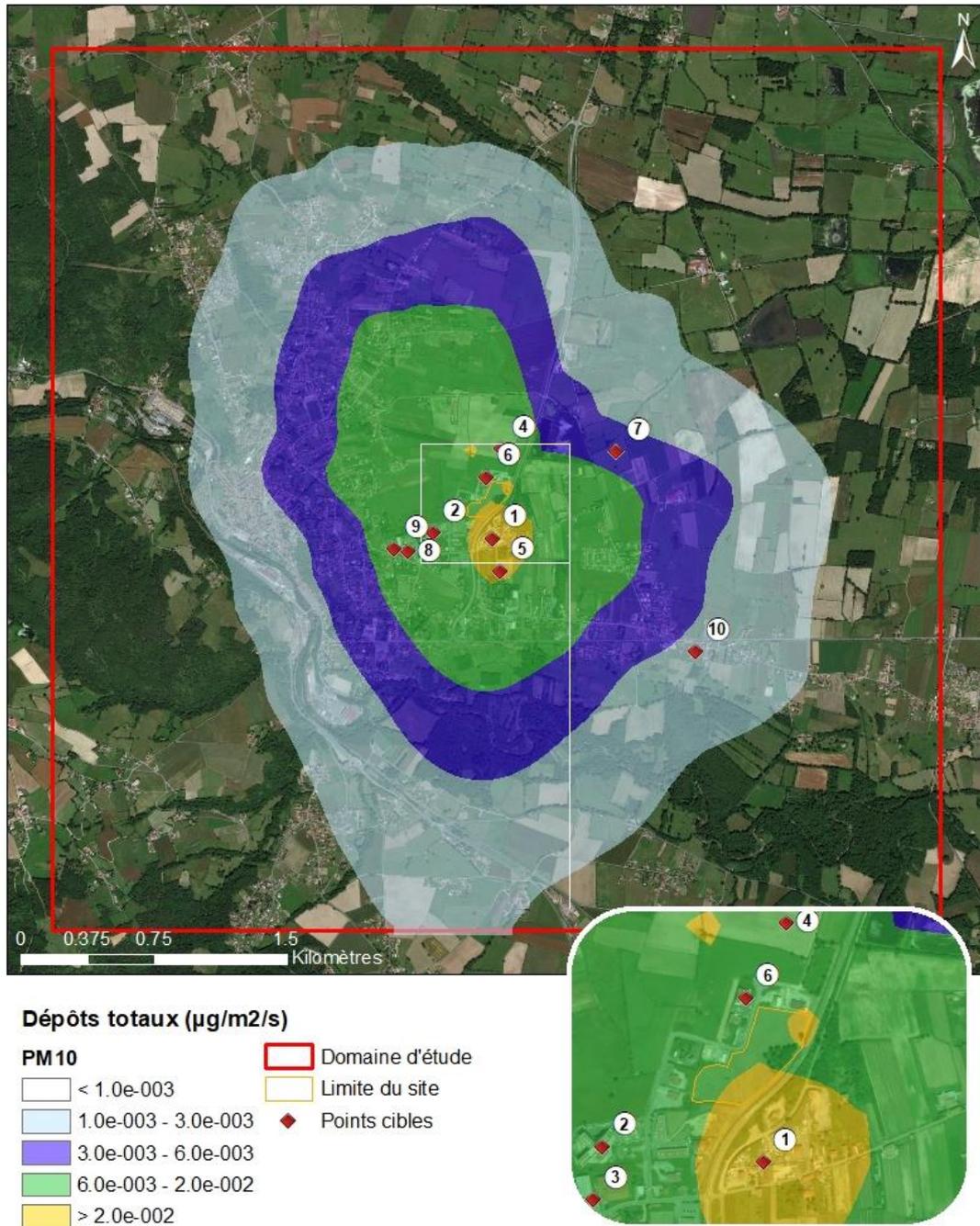


Figure 19 : carte de dépôts en poussières (PM10) – scénario moy



Dépôts totaux ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)

PM10

- $< 1.0\text{e-}003$
- $1.0\text{e-}003 - 3.0\text{e-}003$
- $3.0\text{e-}003 - 6.0\text{e-}003$
- $6.0\text{e-}003 - 2.0\text{e-}002$
- $> 2.0\text{e-}002$

- Domaine d'étude
- Limite du site
- Points cibles



5.4 EVALUATION DE L'EXPOSITION HUMAINE

L'étude de dispersion (cf. paragraphe 5.1.4) a permis d'estimer les concentrations dans l'air et les dépôts au sol imputables au site pour le scénario maximal et le scénario moyen. Ces résultats serviront dans le cadre de cette étude pour estimer les expositions des populations vivant autour du site.

5.4.1 Voies d'exposition

Le schéma conceptuel d'exposition (cf. paragraphe 4) nous a conduits à retenir les voies d'exposition suivantes :

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

5.4.2 Exposition par inhalation

5.4.2.1 Comparaison des concentrations aux valeurs guides OMS

Le NO₂, le SO₂ et les poussières (assimilées aux PM₁₀) ne disposent pas de valeur de référence applicable mais des valeurs guides ont été fixées par l'OMS (2005) pour évaluer l'impact des émissions sur la qualité de l'air et la santé des populations exposées. Pour ces substances, les concentrations modélisées seront simplement comparées aux valeurs guides conformément à la note d'information de la DGS d'octobre 2014.

Le Tableau 27 indique les concentrations estimées par la modélisation au point le plus impacté en dehors des limites du site ainsi que les valeurs guides de l'OMS (cf. paragraphe 5.1.3.3, Tableau 18).

Tableau 27 : concentration en moyenne annuelle et valeurs guides OMS

Substances	Unité	Concentration moyenne annuelle dans la zone la plus exposée en dehors des limites du site Scénario maximal	Concentration moyenne annuelle dans la zone la plus exposée en dehors des limites du site Scénario moyen	Valeur guide OMS (moyenne annuelle)
Dioxyde d'azote	µg/m ³	4.6	0.67	40
Poussières PM ₁₀	µg/m ³	2.5	0.36	20
Poussières PM _{2.5}	µg/m ³	2.3	0.33	10
Dioxyde de soufre	µg/m ³	6.7	0.34	50

Les concentrations attribuables aux émissions du site sont très inférieures aux valeurs guides de l'OMS en moyenne annuelle dans la zone la plus exposée en dehors des limites du site quel que soit le scénario étudié.

5.4.2.2 Scénario d'exposition

Un scénario général sera considéré ici pour l'exposition par inhalation des populations. Afin de garder un caractère majorant, un **scénario maximaliste** est retenu en première approche, à savoir :

- l'étude porte sur des expositions chroniques, c'est-à-dire des expositions récurrentes ou continues pendant plusieurs années. Par conséquent, la durée de résidence choisie est de **30 ans**, ce qui correspond au 90^{ème} percentile des durées de résidence en France (Nedellec¹⁰ 1998), sans changer d'adresse. Cette durée de résidence est préconisée par l'INERIS et par l'Observatoire des pratiques de l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact. Il peut exister des variations locales à ce chiffre. Par ailleurs, ce chiffre ne rend pas compte des personnes qui déménagent dans la même commune et qui restent donc exposées.
- 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.

Ces hypothèses ne tiennent pas compte des diverses causes d'absence du domicile, notamment pour des raisons personnelles (vacances, loisirs, etc.) ou professionnelles.

Les doses d'exposition par voie respiratoire sont calculées à partir des concentrations estimées dans le cadre de l'étude de dispersion (cf. paragraphe 5.1.4) pour le **scénario résidentiel majorant** : au niveau de la zone la plus exposée qui correspond également à une zone habitée.

Tableau 28 : récapitulatif des scénarios inhalation retenus

<i>Scénario retenu</i>	<i>Description du scénario</i>
Résident majorant (scénario maximaliste)	100% du temps passé au niveau de la zone habitée la plus exposée (zone max) où les concentrations sont les plus importantes en dehors du site (exposition 24h/24, 7J/7, 365 jours/an pendant 30 ans)

5.4.2.3 Méthode de calcul des doses d'exposition par voie respiratoire

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

$$CI = Ci \times \frac{T \times F}{T_m}$$

Avec :

- CI : concentration moyenne inhalée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Ci : concentration de polluant dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- F : fréquence d'exposition. Dans cette étude : F = 1 (24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an)
- T : durée d'exposition (années)
- T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années).

¹⁰ Nedellec V., D. Courgeau et P. Empereur-Bissonnet, La durée de résidence des français et l'évaluation des risques liés aux sols pollués, *Energie Santé*, 9, 503-515, 1998.

Conformément à la méthodologie donnée par le référentiel de l'INERIS¹¹, pour les polluants avec effets à seuil, l'exposition moyenne est calculée sur la durée effective d'exposition soit $T_m=T$.

Pour les polluants avec effets sans seuil (cancérogènes génotoxiques), T_m est assimilée à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans). **Le ratio T/T_m n'apparaît donc que dans les calculs pour les toxiques à effet sans seuil.** Dans cette étude, T est assimilée à une durée d'exposition de 30 ans (cf. paragraphe 5.4.2.1).

La formule de calcul de la concentration inhalée CI se simplifie donc de la façon suivante :

- pour les polluants avec **effets à seuil** : $CI = Ci$
- pour les polluants avec **effets sans seuil** : $CI = Ci \times 30/70$

avec Ci , la concentration dans l'air ambiant calculée par modélisation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Notons que le calcul de la concentration moyenne inhalée CI ne fait pas intervenir de paramètres physiologiques, les résultats ainsi obtenus s'appliquent aussi bien à l'exposition par inhalation d'un adulte qu'à celle d'un enfant.

5.4.2.4 Doses d'exposition par voie respiratoire

L'estimation de l'exposition par inhalation liée aux émissions de l'installation est basée sur les concentrations en moyenne annuelle estimées par l'étude de dispersion au niveau de la zone la plus exposée en dehors des limites de site (cf. Tableau 23 paragraphe 5.3.2.4). A noter que les concentrations à l'émission étant les mêmes pour le scénario maximal et le scénario moyen, les doses d'exposition sont identiques.

Tableau 29 : doses d'exposition par inhalation

Substances	Unité	Scénario max = Scénario moyen	
		Concentration (moyenne annuelle) dans la zone la plus exposée en dehors des limites de site	Doses d'exposition par inhalation dans la zone la plus exposée en dehors des limites de site
Substances à seuil ($CI = Ci$)			
Benzène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.013	0.013
Benzo(a)pyrène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.5E-04	0.00025
Substances sans seuil ($CI = Ci \times 30/70$)			
Benzène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.013	0.0054
Benzo(a)pyrène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.5E-04	1.1E-04

¹¹ Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées, INERIS Août 2013

5.4.3 Exposition par ingestion

Il existe pour certains éléments dont les éléments traces 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.

5.4.3.1 Scénario d'exposition

Dans cette étude, l'exposition des populations est prise égale à **30 ans** (cf. paragraphe 5.4.2.2). Les individus sont supposés présents 365 jours par an sur le lieu d'étude.

Trois valeurs de dépôts sont retenues pour effectuer les calculs de remontée dans la chaîne alimentaire :

- Dcult, dépôt au niveau des zones de culture agricole, pris en compte pour les transferts suivants :
 - sol→végétaux→homme,
 - sol→céréales→volaille→(œuf→) homme,
- Dpât, dépôt au niveau des premières zones de pâturage, pris en compte pour les transferts : sol→herbe→bovin→homme.
- Dpop, dépôt au niveau des premières zones d'habitation les plus exposées, pris en compte pour tous les autres transferts : sol→homme.

Dans cette étude, nous considérerons que :

- Dpop= Dépôt max sur la zone habitée la plus exposée (habitation sud-est, point 1),
- Dcult = Dépôts au niveau de la zone de culture la plus exposée (point 5),
- Dpât= Dcult

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.

Les risques non cancérigènes sont estimés au moment de la contamination maximale des milieux, c'est-à-dire au terme des 30 années de fonctionnement de l'installation.

Voies d'exposition par ingestion retenues dans l'étude

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, fruits, œufs, viande et produits laitiers d'origine locale (EPA, HHRAP)¹².

5.4.3.2 Détermination des concentrations dans les milieux d'exposition

Ce paragraphe 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)¹³.

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

¹² EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion facilities. July 1998. EPA530-D-98-001A.

¹³ EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion facilities. July 1998. EPA530-D-98-001A.

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**.

5.4.3.2.1 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 : $\rho=1\ 300\ \text{kg/m}^3$
- durée d'exposition : T= 30 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-GIC¹⁴). Les concentrations dans les sols ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 30.

¹⁴ « 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 30 : concentrations dans les sols – scénario maximal et scénario moyen

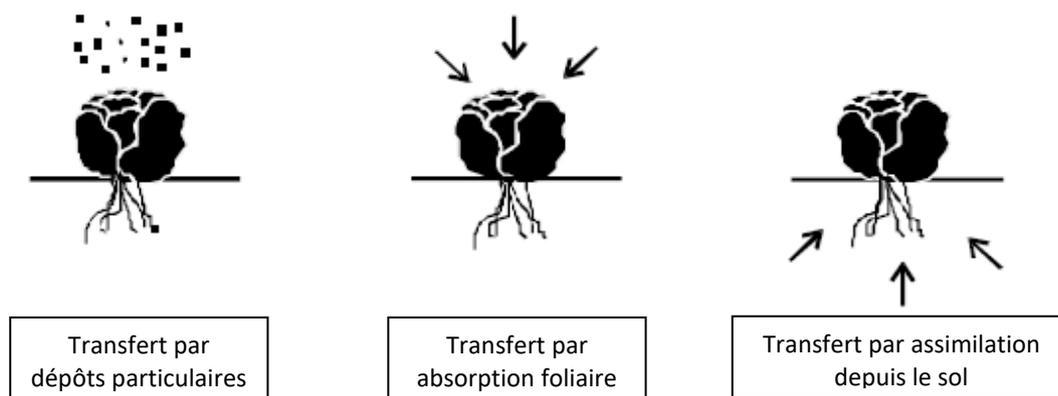
Substance	ZONE DE POPULATION		ZONE DE CULTURE		ZONE DE PATURAGE		
	Dpop (mg/m ² /an)	concentration dans la zone d'habitation la plus exposée dans 30 ans	Dcult (mg/m ² /an)	concentration dans la zone de culture la plus exposée dans 30 ans	Dpât (mg/m ² /an)	concentration dans la zone de pâturage la plus exposée dans 30 ans	
		dans le 1er cm (mg/kg sol)		dans les 20 premiers cm (mg/kg sol)		dans le 1er cm (mg/kg sol)	dans les 10 premiers cm (mg/kg sol)
Benzo(a)pyrène	1.4E-03	3.2E-03	1.0E-03	1.2E-04	1.0E-03	2.3E-03	2.3E-04

5.4.3.2.2 Détermination des concentrations dans les végétaux

La contamination des végétaux a trois origines (cf. Figure 20) :

- 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 20 : 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^{15/16} et sont présentées dans le Tableau 31.

¹⁵ INERIS. Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, INERIS (mai 2003).

¹⁶ « 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 31 : 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	-	-	-	-

Les concentrations dans la plante liées au dépôt particulaire sont calculées à partir des concentrations en polluant dans le sol au niveau des premières zones de culture. Les concentrations en polluant dans la plante ainsi calculées, liées au dépôt particulaire, sont présentées dans le Tableau 32.

Tableau 32 : concentrations dans les plantes dues au dépôt de particules (transfert dépôt/plante)

Substance	Plantes à feuilles Conc (mg/kg frais)	Plantes à fruits Conc (mg/kg frais)	Fruits Conc (mg/kg frais)	Herbe Conc (mg/kg frais)
Benzo(a)pyrène	4.0E-06	3.2E-07	1.7E-06	2.1E-05

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) utilisés sont présentés dans le Tableau 35 et sont issus de préférence de la base de données HHRAP (EPA, 2005). Les données HHRAP ont été privilégiées pour la transparence des sources d'informations et sa mise à jour récente.

Tableau 33 : facteurs de bioconcentration air/plante (B_v exprimés par rapport à la plante fraîche)

	Bv air/feuille	Bv air/leg-fruit	Bv air/fruit	Bv air/herbe	Source
unité	m ³ /kg frais				
Benzo(a)pyrène	24948	7859	18711	24948	HHRAP 2005

Les concentrations dans l'air sont celles calculées par le modèle de dispersion et présentées dans la partie 5.4.2.4.

Les concentrations en polluant dans les végétaux ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 36.

Tableau 34 : concentrations dans les végétaux (transfert air/plante)

Substances	Concentration dans les végétaux (mg/kg plante)			Concentration dans l'herbe fraîche (mg/kg)
	Légumes feuilles	Légumes fruits	Fruits	
Benzo(a)pyrène	1.4E-05	4.3E-06	1.0E-05	1.4E-05

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 35 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)¹⁷. Les données HHRAP ont été privilégiées pour la transparence des sources d'informations et sa mise à jour récente.

Tableau 35 : facteurs de bioconcentration sol/plante (B_r 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	
unité	kg sol sec/kg frais de plante						Source biblio
Benzo(a)pyrène	1.21E-02	1.14E-03	8.32E-04	1.98E-03	1.16E-02	2.64E-03	HHRAP 2005

Les concentrations dans les végétaux sont calculées à partir des concentrations en polluant dans le sol au niveau des premières zones de culture. Les concentrations en polluant dans les végétaux ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 36.

Tableau 36 : concentrations dans les végétaux (transfert sol/plante)

Substances	Concentration dans les végétaux (mg/kg plante)					Concentration dans l'herbe fraîche (mg/kg)
	Légumes racines	Légumes feuilles	Légumes fruits	Fruits	Grains	
Benzo(a)pyrène	1.4E-06	1.3E-07	9.6E-08	2.3E-07	1.3E-06	6.1E-07

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 :

¹⁷ 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 DPRESERLAB/01-39

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

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)

Les concentrations totales dans les plantes ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 37.

Tableau 37 : contamination totale des plantes (via le sol, l'air et les dépôts de particules)

Substance	Contamination totale végétaux frais (mg/kg)					
	Légume racine	Légume feuille	Légume fruit	Fruit	Herbe	Grains
Benzo(a)pyrène	1.4E-06	1.8E-05	4.7E-06	1.2E-05	3.5E-05	1.3E-06

5.4.3.2.3 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 (B_a) utilisés sont présentés dans le Tableau 38 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 et sa mise à jour récente.

Tableau 38 : coefficient de bio-transfert dans les produits animaux (B_a exprimés par rapport à la masse fraîche de produit)

Substance	$B_{a\text{boeuf}}$	$B_{a\text{porc}}$	$B_{a\text{lait}}$	$B_{a\text{volaille}}$	$B_{a\text{oeuf}}$	$B_{a\text{lait mat.}}$	Source
unité	j/kg frais	j/kg frais	j/l frais	j/kg frais	j/kg frais	j/kg frais	
Benzo(a)pyrène	3.76E-02	4.55E-02	4.55E-02	7.91E-03	2.77E-02	1.58E-02	HHRAP 2005

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 :

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

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 ($B_s = 1$)

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 DPRESERLAB/01-39

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

Les paramètres relatifs au bœuf sont les suivants (INERIS¹⁹) :

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

$Q_s = 0,5$ 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 :

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

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)

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 (INERIS¹⁹) :

$Q_{\text{herbe}} = 80$ kg frais/j

$Q_s = 0,64$ kg sec/j

Transfert vers la viande de volaille et de porc

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 (INERIS¹⁹) :

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

$Q_s = 0,02$ kg sec/j

¹⁹ INERIS. Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, INERIS (mai 2003).

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 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 ($B_s = 1$)
- $Ba_{\text{œuf}}$: facteur de biotransfert pour les œufs (j/kg frais)

Les paramètres relatifs aux volailles sont les suivants (INERIS¹⁹) :

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

Contamination des produits d'origine animale

Les concentrations en polluant dans les produits d'origine animale ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 39.

Tableau 39 : contamination des produits d'origine animale liée à l'installation – scénario habitant majorant

Substance	Contamination des produits d'origine animale (mg/kg)				
	Viande de bœuf	Viande de porc	Lait	Viande de volaille	Œufs
unité	mg/kg frais	mg/kg frais	mg/kg frais	mg/kg frais	mg/kg frais
Benzo(a)pyrène	1.2E-04	2.1E-06	3.4E-05	1.3E-06	7.4E-07

5.4.3.3 Calcul des doses d'exposition par voie digestive

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

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

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 (-)
- F : fréquence d'exposition (nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours), fixée à 1 dans une hypothèse majorante.
- P : masse corporelle de la cible (kg)

Les concentrations C_i dans l'aliment i sont calculées suivant les méthodologies présentées au paragraphe 5.4.3.2 .

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'INERIS²⁰ et utilisées dans le logiciel MODUL'ERS pour chaque catégorie d'âge (cf. Tableau 40).

Tableau 40 : paramètres relatifs aux différentes catégories d'âge (données INERIS)

	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	7	9	9	12
Quantité de légume feuille ingérée (g/j)	7	22	8	10	12	12	24
Quantité de légume fruit ingérée (g/j)	11	40	66	64	70	72	110
Quantité de fruit ingérée (g/j)	16	53	90	90	83	82	160
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	1.1	1.7	1.7	2.3	2.5	3.2
Quantité de produits laitiers ingérée (g/j)	0.1	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Quantité d'œufs ingérée (g/j)	1.8	11.0	10.0	10.0	10.0	11.0	15.0
Consommation de lait maternel							
Quantité de lait maternel (L/j)	0,7	0	0	0	-	-	

Tableau 41 : fraction d'aliments auto-produits (données INERIS)

Catégories d'aliments	Fraction d'aliments auto-produits pour la population moyenne
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
Œufs	0.15
Lait et produits laitiers	0.04

Les Doses Journalières d'Exposition liées au site ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 42 (détail en Annexe 7).

²⁰ Rapport INERIS-DRC-14-141968-11173C (juin 2017) – Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS

Tableau 42 : Dose Journalière d'Exposition totale pour chaque tranche d'âge – Scénario maximal et scénario moyen

Classe d'âge	Unités	Benz o(a)p yrène
DJE Classe 1 : de 0 à 1 an	mg/kg/j	3.6E-08
DJE Classe 2 : de 1 à 3 ans	mg/kg/j	6.1E-08
DJE Classe 3 : de 3 à 6 ans	mg/kg/j	4.3E-08
DJE Classe 4 : de 6 à 11 ans	mg/kg/j	2.7E-08
DJE Classe 5 : de 11 à 15 ans	mg/kg/j	1.6E-08
DJE Classe 6 : de 15 à 18 ans	mg/kg/j	1.2E-08
DJE Enfant (moyenne classes 1 à 6)	mg/kg/j	3.3E-08
DJE Adulte (classe 7 : les plus de 18 ans)	mg/kg/j	3.2E-08
DJE pondérée sur 30 ans	mg/kg/j	9.8E-09

5.5 CARACTERISATION DES RISQUES

Objectif

A partir des informations issues de l'évaluation des expositions des populations et de l'évaluation des propriétés toxiques des substances, l'évaluation des risques présente l'estimation de l'incidence et de la gravité des effets sur les populations.

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. Les risques sont évalués pour un individu. Les risques collectifs ne sont pas calculés.

5.5.1 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.

5.5.1.1 Substances à 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 :

Ingestion : $QD_j = DJE_j / VTR_o$

Inhalation : $QD_j = CI / VTR_i$

où :

- QD_j : Quotient de danger pour la classe d'âge j
- DJE_j : Dose journalière d'Exposition pour la classe d'âge j (en mg/kg de poids corporel/jour)
- VTR_o : Valeur Toxicologique de Référence pour la voie digestive (en mg/kg de poids corporel/jour)
- CI : Concentration inhalée (en µg/m³)
- VTR_i : Valeur Toxicologique de Référence par inhalation (en µg/m³)

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.

Pour l'exposition par ingestion, la DJE étant fonction des quantités ingérées, variables avec l'âge, il est calculé un QD pour chacune des 6 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 six tranches d'âge d'enfants sont présentés dans le corps du rapport sous le terme « enfants » qui est une moyenne des six tranches d'âge de 0 à 18 ans inclus.

5.5.1.2 Substances à 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 l'excès de risque unitaire (ERU) vie entière (conventionnellement 70 ans) par la dose journalière d'exposition (DJE) pour la voie digestive ou par la concentration atmosphérique inhalée (CI) pour l'inhalation.

L'Excès de Risque Individuel est donc le suivant :

Ingestion :

$$\text{ERI} = \text{VTR}_o \times \sum_j \frac{\text{DJE}_j \times T_j}{70}$$

Inhalation :

$$\text{ERI} = \text{VTR}_i \times \text{CI}$$

où : ERI : Excès de Risque Individuel

VTR=ERU : Excès de Risque Unitaire par ingestion (ERU_o 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 : Concentration inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

DJE_j : Dose journalière d'Exposition pour la classe d'âge j (en mg/kg de poids corporel/jour)

T_j : durée d'exposition associée à la classe d'âge j (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.

L'acceptabilité des risques évalués s'apprécie ensuite par comparaison à des niveaux de risque jugés socialement acceptables. Il n'existe pas, bien entendu, de seuil absolu d'acceptabilité, mais il existe plusieurs valeurs de seuils pouvant servir de référence :

- aux USA, la valeur de 10^{-6} est considérée comme le seuil de risque acceptable en population générale, alors que la valeur de 10^{-4} est considérée comme limite acceptable en milieu professionnel. La valeur de 10^{-5} est souvent admise comme seuil d'intervention.
- en France, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire reprend dans la circulaire du 8 février 2007 ce seuil de 10^{-5} comme critère d'acceptabilité des niveaux de risque dans la gestion des sols pollués.

- ce seuil de 10^{-5} est également utilisé par l'OMS pour définir les valeurs guides de qualité de l'eau de boisson et de qualité de l'air ;
- c'est également le seuil indiqué dans le guide INERIS de 2013 et dans la circulaire du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation.

5.5.1.3 Risque global

Pour tenir compte de l'exposition conjointe à plusieurs composés, l'InVS (2000), repris par l'INERIS (2013), recommande d'estimer le risque sanitaire global en sommant les risques de la façon suivante :

- pour les composés à effet à seuil : la somme doit être réalisée pour ceux dont la toxicité est identique en termes de mécanisme d'action et d'organe cible. Pratiquement, tous les composés ayant la même cible organique ont été regroupés car les données sur les mécanismes d'action des composés ne sont pas toujours connues ;
- pour les composés à effet sans seuil : la somme de tous les ERI doit être réalisée, quel que soit le type de cancer et l'organe touché, de façon à apprécier le risque cancérigène global.

5.5.2 Evaluation des risques sanitaires pour les substances à seuil

Concernant les risques par inhalation, le Tableau 43 présente les Quotients de Danger (QD) calculés pour les traceurs de risque à partir des Concentrations inhalées (CI) et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) (cf. paragraphe 5.1.3.3) retenues pour l'exposition par voie respiratoire. Rappelons que les concentrations à l'émission étant identiques pour les deux scénarios d'émissions retenus (maximal et moyen) pour le benzène et le benzo(a)pyrène, les quotients de danger sont identiques quel que soit le scénario regardé.

Tableau 43 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil par inhalation – scénario moyen et scénario maximal

Organe /Système cible	Substance	Voie d'exposition	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dose Zone la plus exposée en dehors de la bande des limites de site		QD Zone la plus exposée en dehors de la bande des limites de site	
				Enfant	Adulte	Enfant	Adulte
Développement	benzo(a)pyrène	Inhalation	2.00E-03	2.5E-04		0.1	
Système immunitaire	Benzène	Inhalation	1.00E+01	1.3E-02		0.001	

Pour tous les traceurs de risque à seuil pour la voie respiratoire, le QD est inférieur à la valeur repère égale à 1, le B(a)P étant le traceur présentant le QD le plus élevé (0,1).

Concernant les risques par ingestion, le Tableau 44 présente le Quotients de Danger (QD) calculé à partir de la Dose Journalière d'Exposition (DJE) estimée **pour le scénario résidentiel majorant**, et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) (cf. paragraphe 5.1.3.3) retenues pour l'exposition par voie digestive. Pour le b(a)p, seule substance à risque à seuil pour la voie digestive, le QD est très inférieurs à la valeur repère égale à 1.

Tableau 44 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil par ingestion

Atteintes systémiques	Substances	QD	
		Enfant	Adulte
Développement	benzo(a)pyrène	1.1E-04	1.1E-04

Le Tableau 45 synthétise les Quotients de Danger (QD) calculés pour les traceurs du risque et par organe cible quelle que soit la voie d'exposition.

Tableau 45 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil par organe cible

Atteintes systémiques	Substances	Voies d'exposition	QD Zone habitée la plus exposée	
			Enfant	Adulte
Développement	benzo(a)pyrène	Inhalation	1.3E-01	
	benzo(a)pyrène	Ingestion	1.1E-04	1.1E-04
	QD Global		1.3E-01	1.3E-01
Système immunitaire	Benzène	Inhalation	1.3E-03	
	QD Global		1.3E-03	
VALEUR REPERE			1	

Les sommes des Quotients de Danger calculées par organe cible sont toutes inférieures à la valeur repère égale à 1

Compte-tenu des hypothèses majorantes retenues pour le calcul des risques, la survenue d'effets toxiques liés aux rejets de la centrale d'enrobage à chaud apparaît donc peu probable.

5.5.3 Evaluation des risques sanitaires pour les substances sans seuil

Le Tableau 46 présente les Excès de Risque Individuel calculés pour les traceurs du risque à partir des Concentrations inhalées (CI) pour l'exposition par voie respiratoire et des Doses Journalières d'Exposition (DJE) pour l'exposition par voie orale, et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues (cf. paragraphe 5.1.4). Les résultats sont présentés **pour le scénario résidentiel majorant**. Les ERI sont classés par ordre décroissant. Afin d'apprécier le risque cancérigène global, le tableau présente également l'excès de risque individuel global (obtenu en additionnant les excès de risque individuel de chaque substance).

Tableau 46 : excès de Risque Individuel pour les traceurs du risque sans seuil – scénario moyen et scénario maximal

Substances	Voies d'exposition	VTR	CI ou DJE Zone habitée la plus exposée	ERI scénario maximaliste (dans la zone la plus exposée en dehors des limites de site)
Benzène	Inhalation	2.60E-05	5.4E-03	1.4E-07
B(a)P	Inhalation	6.00E-04	1.1E-04	6.4E-08
B(a)P	Ingestion	1.00E+00	9.8E-09	4.2E-09
ERI Global				2.1E-07
VALEUR REPERE				1.0E-05

Les Excès de Risque Individuel calculés pour chaque traceur du risque sont tous inférieurs à la valeur repère égale à 1.10^{-5} (valeur retenue dans la circulaire du 8 février 2007 du MEEDDAT).

De même en sommant les ERI, l'Excès de Risque Individuel Global qui permet d'apprécier le risque cancérigène global est plus faible que la valeur repère.

Les risques sans seuil liés aux rejets du site peuvent donc être considérés comme acceptables.

5.6 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.

5.6.1 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.

5.6.1.1 Incertainces 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.

5.6.1.2 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.

5.6.1.2.1 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.

5.6.1.2.2 Incertitudes liées aux mesures météorologiques

Les simulations de meteoblue peuvent remplacer des mesures dans la plupart des régions. Une simulation sera plus précise pour un lieu donné que les mesures prises plus de 20 km (dans les zones de montagne, la simulation est déjà plus précise qu'une mesure à une distance de 3-10 km).

Les précisions des mesures de vent d'un dixième 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 » de l'opérateur Météo-France. 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.

5.6.1.3 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.

Concernant les paramètres liés aux polluants (vitesse de dépôt, coefficient de lessivage, type particulaire ou non), ces paramètres sont issus de l'état de l'art actuel des connaissances.

5.6.1.4 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.

5.6.2 Incertitudes relatives à l'évaluation des risques sanitaires

5.6.2.1 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.

5.6.2.2 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. L'installation n'existant pas encore, il a été deux scénarios d'émission : un scénario moyen et un scénario maximal.

Durée d'exposition

En absence de données sur le temps d'exposition des personnes, il est pris l'hypothèse qu'elles séjournent sur leur lieu d'habitation en permanence (365 j/an, 24h/24). Cette hypothèse est majorante puisque les personnes ne seront pas exposées en permanence car elles sont amenées à se déplacer pour des raisons personnelles (congés, loisirs) et 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.

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 pour les éléments traces.

5.6.2.3 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. CONCLUSION

Dans le cadre d'un dossier de demande d'exploiter d'une Centrale d'enrobage à chaud située à Boën-sur-Lignon (42), F2E a chargé ARIA Technologies de réaliser l'évaluation des risques sanitaires.

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 » publiée par l'INERIS en août 2013. Elle se déroule en trois étapes :

1. Evaluation des émissions des installations : caractérisation des émissions et conformité au regard des prescriptions réglementaires et aux meilleures techniques disponibles ;
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, les usages et les populations exposées ;
3. Evaluation prospective des risques sanitaires : estimation des risques attribuables aux émissions pour les populations autour de l'installation.

Evaluation des enjeux et des voies d'exposition

Compte tenu des rejets du site, des usages et des populations avoisinantes, les voies d'exposition retenues sont donc :

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

Evaluation prospective des risques sanitaires

Le scénario suivant a été retenu :

Scénario retenu		Description du scénario
Résidentiel majorant	Exposition par inhalation	100% du temps passé au niveau de la zone habitée (zone max) où les concentrations sont les plus importantes en dehors du site (exposition 24h/24, 7J/7, 365 jours/an pendant 30 ans)
	Exposition par ingestion	Les produits consommés sont considérés comme : <ul style="list-style-type: none"> – étant cultivés (fruits et légumes) au niveau des jardins collectifs les plus exposés, – étant élevés (animaux) au niveau des prairies en herbe les plus exposées.

Le Tableau 47 résume les risques pour les effets à seuil par organe cible liés au site.

Tableau 47 : synthèse des risques à seuil (quotient de danger global par organe cible)

Organe cible	Polluants concernés	QD Global scénario résidentiel majorant	
		Enfant	Adulte
Développement	benzo(a)pyrène	1.3E-01	1.3E-01
Système immunitaire	Benzène	1.3E-03	
VALEUR REPERE		1	

Les Quotients de Danger calculés pour chaque organe cible dans la zone la plus exposée sont inférieurs à la valeur repère égale à 1. **Compte-tenu des hypothèses majorantes retenues pour le calcul des risques, la survenue d'effets toxiques liés aux rejets du site apparaît donc peu probable.**

Le Tableau 48 résume les risques pour les effets sans seuil, par organe cible liés à l'installation.

Tableau 48 : synthèse des risques sans seuil (Excès de Risque Individuel global)

Organe cible	Polluants concernés	ERI scénario maximaliste (dans la zone la plus exposée en dehors des limites de site)
Excès de Risque Individuel global	B(a)P Benzène	2.1E-07
Valeur repère		1.00E-05

L'Excès de Risque Individuel Global qui permet d'apprécier le risque cancérigène global est plus faible que la valeur repère. **Les risques sans seuil liés aux rejets du site peuvent donc être considérés comme acceptables.**

Le NO₂, le SO₂ et les poussières (assimilées aux PM₁₀) ne disposent pas de valeur de référence applicable mais des valeurs guides ont été fixées par l'OMS (2005) pour évaluer l'impact des émissions sur la qualité de l'air et la santé des populations exposées. Pour ces substances, les concentrations modélisées sont comparées aux valeurs guides conformément à la note d'information de la DGS d'octobre 2014. **Pour la centrale d'enrobage à chaud étudiée, les concentrations attribuables aux émissions du site sont inférieures aux valeurs guides de l'OMS en moyenne annuelle en tout point du domaine d'étude quel que soit le scénario à l'émission retenu (maximal ou moyen).**

Conclusion

Les informations et données utilisées dans l'étude peuvent être considérées comme représentatives pour se prononcer sur le risque sanitaire induit par le fonctionnement du site de Boën-sur-Lignon dans la configuration retenue. De plus, l'analyse des incertitudes a montré que les hypothèses prises en considération peuvent être considérées comme conservatives (majorantes).

Compte-tenu des hypothèses majorantes retenues pour le calcul des risques (valeurs limites à l'émission), les risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques gazeuses et particulaires de la centrale d'enrobage à chaud de Boën-sur-Lignon sont jugés non préoccupants en l'état actuel des connaissances que ce soit pour le scénario à l'émission moyen ou maximal.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiches toxicologiques

Dioxyde d'azote (N° CAS 10102-44-0)

Références bibliographiques :

- INERIS, Fiche toxicologique pour les oxydes d'azote, novembre 2011
- WHO : Air quality guidelines for Europe. Global update 2005, Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide

Date de mise à jour : 06/03/2012

Identification des dangers

Effets systémiques : Les études de cohorte suggèrent une association entre l'exposition au dioxyde d'azote (concentrations au domicile) et l'incidence de l'asthme chez l'enfant. Des symptômes de toux et de bronchite se trouvent également augmentés. Il est également rapporté des atteintes de la fonction pulmonaire chez les enfants (5 fois plus de valeurs inférieures aux 80 % prédit) qui persistent dans la vie adulte. Il est difficile de dissocier les effets du dioxyde d'azote de ceux d'autres polluants présents dans les mêmes lieux d'exposition (particules ultra-fines, oxyde nitreux, particules, benzène).

Effets cancérigènes : La pollution associée au trafic automobile est associée avec des cancers chez l'enfant et des cancers pulmonaires chez l'adulte mais sans qu'il soit montré une association spécifiquement avec le dioxyde d'azote.

Effets sur la reproduction et le développement : La pollution de l'air est associée à la naissance de bébés à petits poids, à des retards de croissance intra-utérine, à des naissances avant-terme et à une mortalité périnatale. Ces effets sont liés à la pollution d'origine automobile sans que le dioxyde d'azote ait été incriminée individuellement (OMS, 2006).

Classification cancérigène du cadmium et de ses composés :

- **CIRC** : non classé ;
- **Union européenne** : non classé ;
- **US-EPA** : non classé.

Poussières (PM10 et PM2,5)

Références bibliographiques :

- Health Canada, Liste des substances d'intérêt prioritaire : rapport d'évaluation – particules inhalables de 10 µm ou moins, mai 2000
- Organisation Mondiale de la Santé, Air quality Guidelines – Global Update 2005 – Particule matter, ozone, nitrogene dioxide and sulfure dioxide, 2005
- Observatoire des pratiques de l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact, Q54 : Quelles VTR appliquer dans les problématiques « poussières », Décembre 2007

Date de mise à jour : 23/01/2014

Identification des dangers

Effets systémiques : Augmentation de la mortalité, des symptômes de maladies respiratoires, diminution de la fonction et de la capacité pulmonaire chez les enfants et augmentation des cas de bronchite chronique et d'asthme chez certains adultes.

Dans l'Union Européenne, l'exposition aux PM2,5 produites par les activités humaines réduit en moyenne l'espérance de vie de 8,6 mois.

Effets cancérogènes : Il n'existe pas de concentration en poussières en dessous de laquelle il n'ait pas été constaté une augmentation de la mortalité. Il a été constaté une augmentation des cancers pulmonaires dans des études transversales en association avec une exposition aux PM10 et aux PM2,5.

Effets sur la reproduction et le développement : L'exposition de femmes aux poussières a été rapprochée d'effets sur la reproduction et le développement, mais ces effets doivent encore être confirmés par d'autres études.

Classification cancérogène

CIRC : 1 pour les particules diesel (2012) ;

Union européenne : non classées ;

US-EPA : non classées.

Valeurs Toxicologiques de Références

Seule l'inhalation est concernée.

Il n'existe pas de VTR à seuil pour les particules, étant admis par la communauté scientifique que les particules ont des effets sanitaires sans seuil à court et long terme. Pour autant, aucune VTR sans seuil n'existe dans les bases de données de référence

En l'état actuel des pratiques d'évaluation de risque sanitaire pour les installations classées, la quantification des risques liés aux effets sans seuil des particules est rarement réalisée. Elle n'est donc pas retenue.

Néanmoins, il existe des VTR pour les particules issues des gaz d'échappement des moteurs diesel. Ces VTR sont retenues pour les études liées au trafic automobile.

Dioxyde de soufre (N° CAS : 7446-09-5)

Références bibliographiques :

- INERIS, Fiche toxicologique pour le dioxyde de soufre, septembre 2011
- INRS, Fiche toxicologique pour le dioxyde de soufre, 2006
- OMS, Guidelines for Air Quality, Genève 2000
- Organisation Mondiale de la Santé, Air quality Guidelines – Global Update 2005 – Particule matter, ozone, nitrogene dioxide and sulfure dioxide, 2005

Date de mise à jour : 21/11/2014

Identification des dangers

Effets systémiques : L'exposition prolongée augmente l'incidence de pharyngites et de bronchites chroniques qui peuvent s'accompagner d'emphysème et d'altération de la fonction pulmonaire. Ces effets respiratoires sont augmentés par la présence de particules respirables, le tabagisme et l'effort physique. Le dioxyde de soufre peut aggraver l'asthme et les maladies pulmonaires inflammatoires ou fibrosantes. Aux concentrations urbaines de certaines villes canadiennes (moyenne : 5 µg.m⁻³) et américaines (moyenne : 85 µg.m⁻³), il est associé une apparition ou une aggravation des affections respiratoires (toux, dyspnée) et une augmentation du taux de mortalité par maladie respiratoire ou cardiovasculaire. Le dioxyde de soufre peut également provoquer des irritations oculaires.

Effets cancérogènes : il n'existe pas de données suffisantes pour conclure à ce sujet.

Effets sur la reproduction et le développement : Il n'a pas été mis en évidence de lien de causalité entre l'exposition au dioxyde de soufre et des effets sur la reproduction et le développement.

Classification cancérogène :

- **CIRC : groupe 3** (1992), ne peut être classé pour sa cancérogénicité chez l'homme
- **Union européenne :** non classé
- **US-EPA :** non classé

Monoxyde de carbone (N° CAS : 630-08-0)

Références bibliographiques :

- INRS. Fiche toxicologique n°47 Oxyde de carbone, 1996
- WHO Air Quality Guidelines - Second Edition, 2000

Date de mise à jour : 21/11/2014

Identification des dangers

Effets systémiques : Le monoxyde de carbone aurait, à faible dose (à partir de 5 % chez des adultes en bonne santé), des effets neurologiques, en particulier sur la psychomotricité (baisse de la coordination, de la vigilance et visuelle). Il aurait également des effets sur le système cardiovasculaire.

Effets cancérigènes : Il n'a pas été recueilli de données indiquant que le monoxyde de carbone aurait des effets cancérigènes.

Effets sur la reproduction et le développement : Le monoxyde de carbone a également des effets néfastes sur les femmes enceintes, sur le fœtus et sur le nouveau-né (OMS, 2000 ; IPCS, 1999).

Classification cancérogène :

Sans objet

Valeurs Toxicologiques de Références

Aucune VTR n'est disponible pour cette substance.

Benzène (N° CAS : 71-43-2)

Références bibliographiques :

- *INERIS. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Benzène. Mars 2006*

Date de mise à jour : 14/01/2016

Identification des dangers

Effets systémiques : De nombreuses études ont mis en évidence des effets sur le système sanguin (effets hématotoxiques et immunotoxiques) associés à des expositions par inhalation. Des effets sur le système immunitaire ont également été décrits dans le cadre d'exposition professionnelle au benzène.

Effets cancérigènes : de nombreuses études ont rapporté une augmentation des taux de cancer au cours des expositions professionnelles au benzène. La leucémie aiguë myéloïde est l'affection le plus souvent rapportée dans les études de cas mais l'épidémiologie retrouve une association significative avec les leucémies de tout type voire d'autres affections du tissu hématopoïétique.

Effets sur la reproduction et le développement : Le benzène passe la barrière placentaire et est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus à des niveaux supérieurs ou égaux à ceux mesurés chez la mère exposée par inhalation. Les effets sur la reproduction sont cependant insuffisants pour établir une relation causale : certaines études rapportent une augmentation des anomalies du tube neural et des avortements spontanés, mais d'autres études ne retrouvent pas ces anomalies.

Classification cancérogène :

- **Union européenne : Catégorie 1A (anciennement 1) :** substance que l'on sait être cancérogène pour l'homme (JOCE, 2004)
- **CIRC – IARC : Groupe 1 :** agent cancérigène pour l'homme (1987)
- **US EPA (IRIS) : Catégorie A :** substance cancérigène pour l'homme (1998).

Benzo(a)pyrène (N° CAS : 50-32-8)

Références bibliographiques :

- INERIS, *fiche toxicologique du benzo(a)pyrène, juillet 2006*

Date de mise à jour : 22/05/2017

Identification des dangers

Effets systémiques : Non concerné

Effets cancérigènes : Les études rapportées dans la littérature ne permettent pas de conclure quant au caractère cancérigène du benzo[a]pyrène à lui seul chez l'homme. Cependant, chez l'animal, les études montrent que le benzo[a]pyrène induit des tumeurs chez de nombreuses espèces animales par les trois voies d'exposition possibles : pulmonaire, orale et cutanée. Les effets rapportés correspondent à une action à la fois locale et systémique.

Effets sur la reproduction et le développement : Le benzo[a]pyrène est classé catégorie 2 par l'union européenne (substance devant être assimilée à des substances altérant la fertilité dans l'espèce humaine ou causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine (JOCE, 2004)).

D'après la bibliographie, aucune étude n'a été effectuée chez l'homme pour rechercher un éventuel effet du benzo[a]pyrène sur la reproduction.

Classification cancérigène :

- **Union européenne : Catégorie 1B** - substance cancérigène pour l'homme (JOCE, 2004)
- **CIRC – IARC : Groupe 1** - cancérigène pour l'homme (2012)
- **US EPA (IRIS) : Classe B2** - cancérigène probable pour l'homme (1994)

Annexe 2 : Description du modèle numérique ARIA Impact

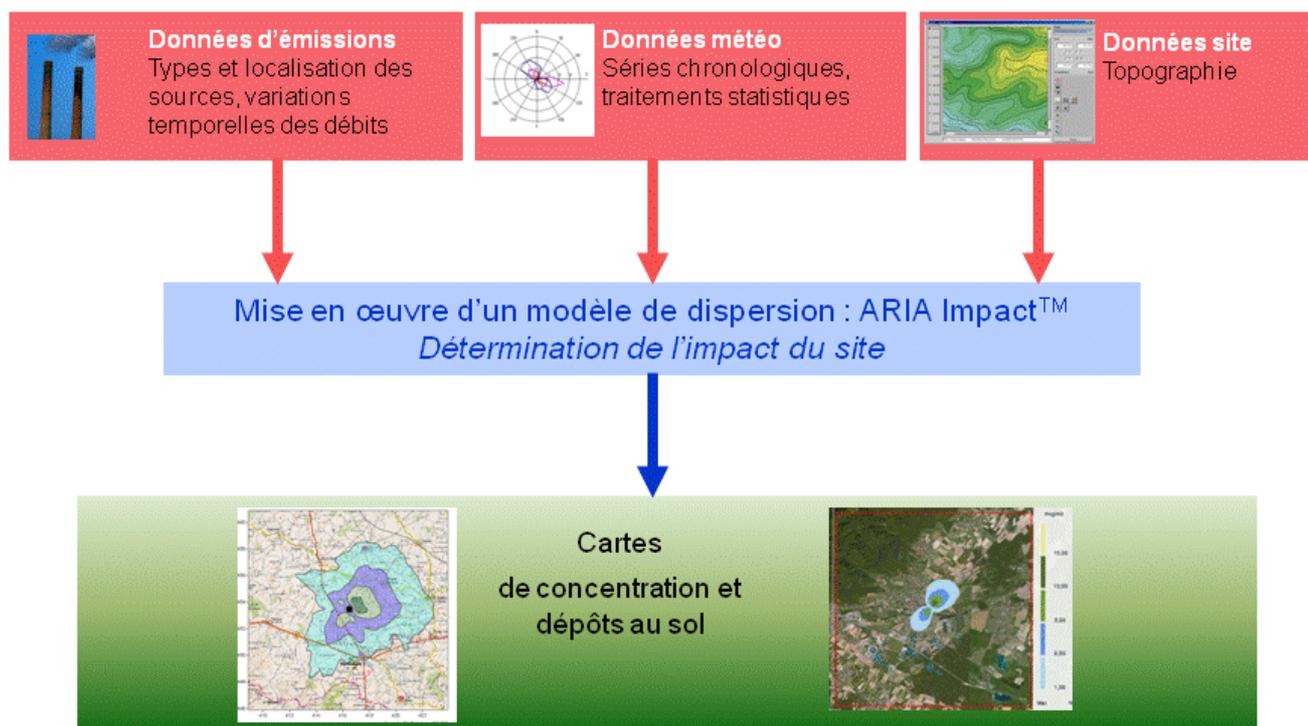
Présentation générale

ARIA Impact™ est un modèle de type "gaussien", conforme aux recommandations de l'E.P.A.²¹. 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 :



²¹ 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.

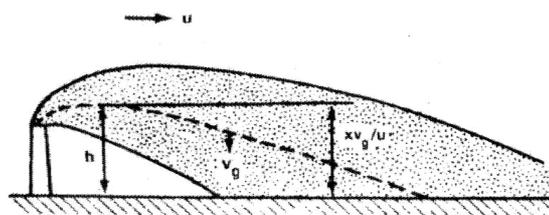
Variation temporelle des émissions

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.

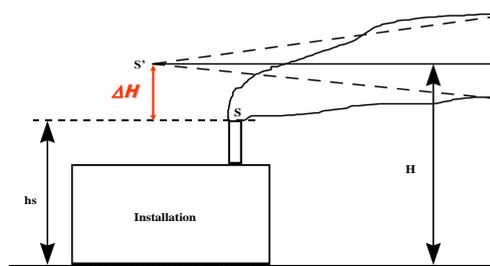
Afin de prendre en compte cette variation de vitesse de vent dans les calculs de la dispersion des polluants atmosphériques, le logiciel ARIA Impact™ peut calculer des profils verticaux de vent en fonction des mesures de vent au sol, de la turbulence atmosphérique et de l'occupation des sols, afin de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

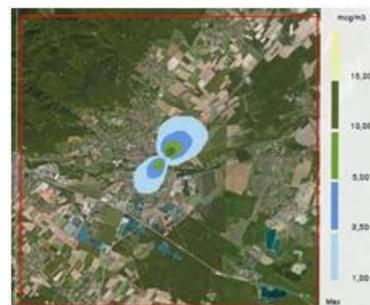
- **moyennes mensuelles et/ou annuelles** de polluant autour du site, en concentrations et dépôts au sol,
- **fréquences de dépassement de seuils** en moyennes journalières ou horaires (normes françaises et européennes),
- **centiles 98, 99.8, 100** ou autres valeurs de centiles sur une base de calcul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

Les résultats de concentrations peuvent être exprimés en µg/m³, ng/m³, pg/m³ ou fg/m³ pour les polluants classiques, en uo/m³ pour les odeurs et en Bq/m³ pour les polluants radioactifs.

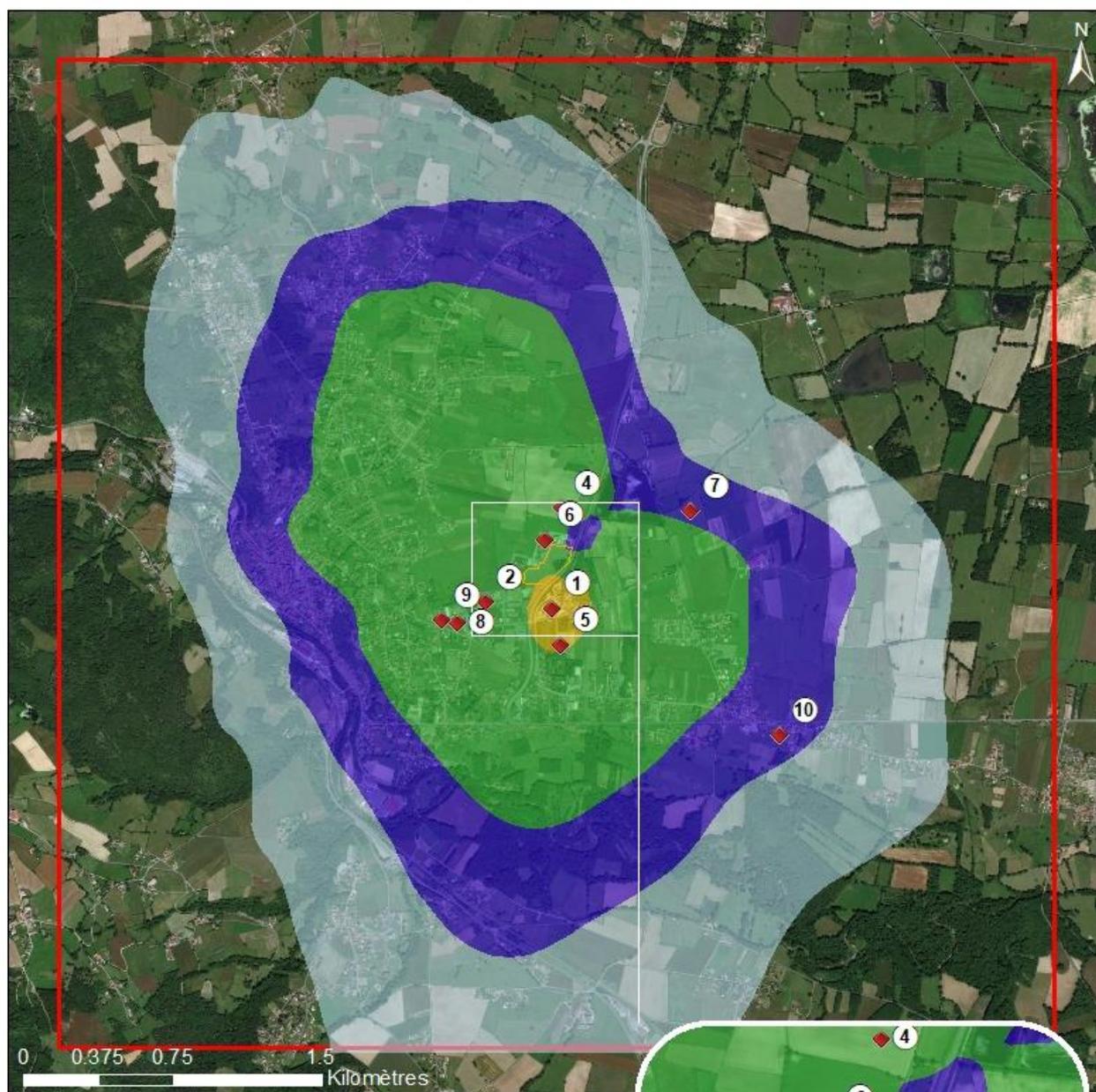
Cartographies

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.

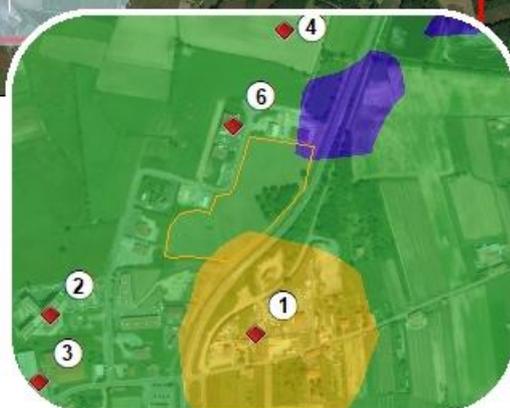


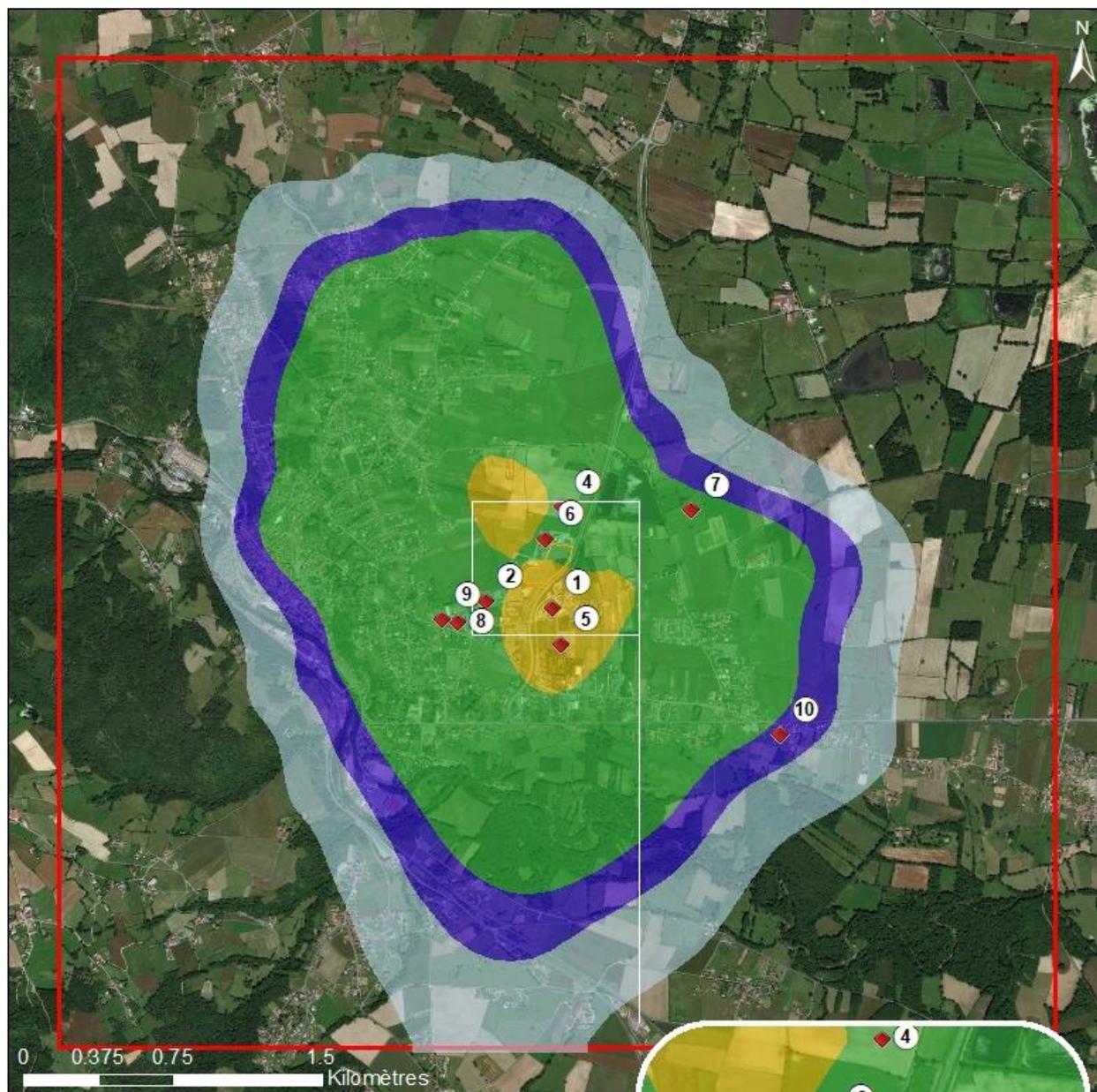
Annexe 3 : Cartes de concentration en moyenne annuelle – scénario max



Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- | | |
|------------|-----------------|
| NO2 | Domaine d'étude |
| < 0.2 | Limite du site |
| 0.2 - 0.3 | Points cibles |
| 0.3 - 0.6 | |
| 0.6 - 3 | |
| > 3 | |





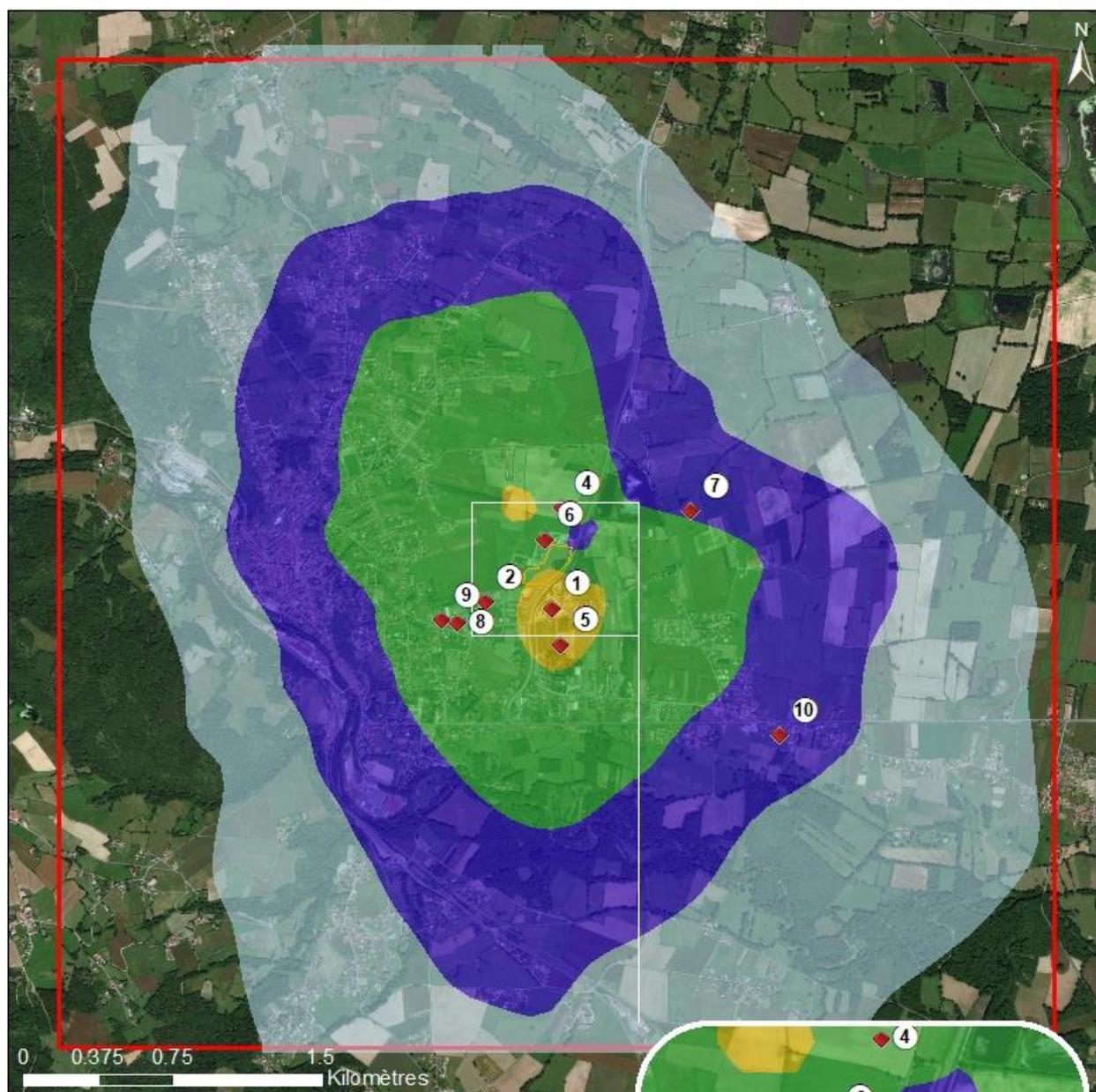
Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

PM2.5

- < 0.10
- 0.10 - 0.15
- 0.15 - 0.20
- 0.20 - 1.00
- > 1.00

- Domaine d'étude
- Limite du site
- Points cibles

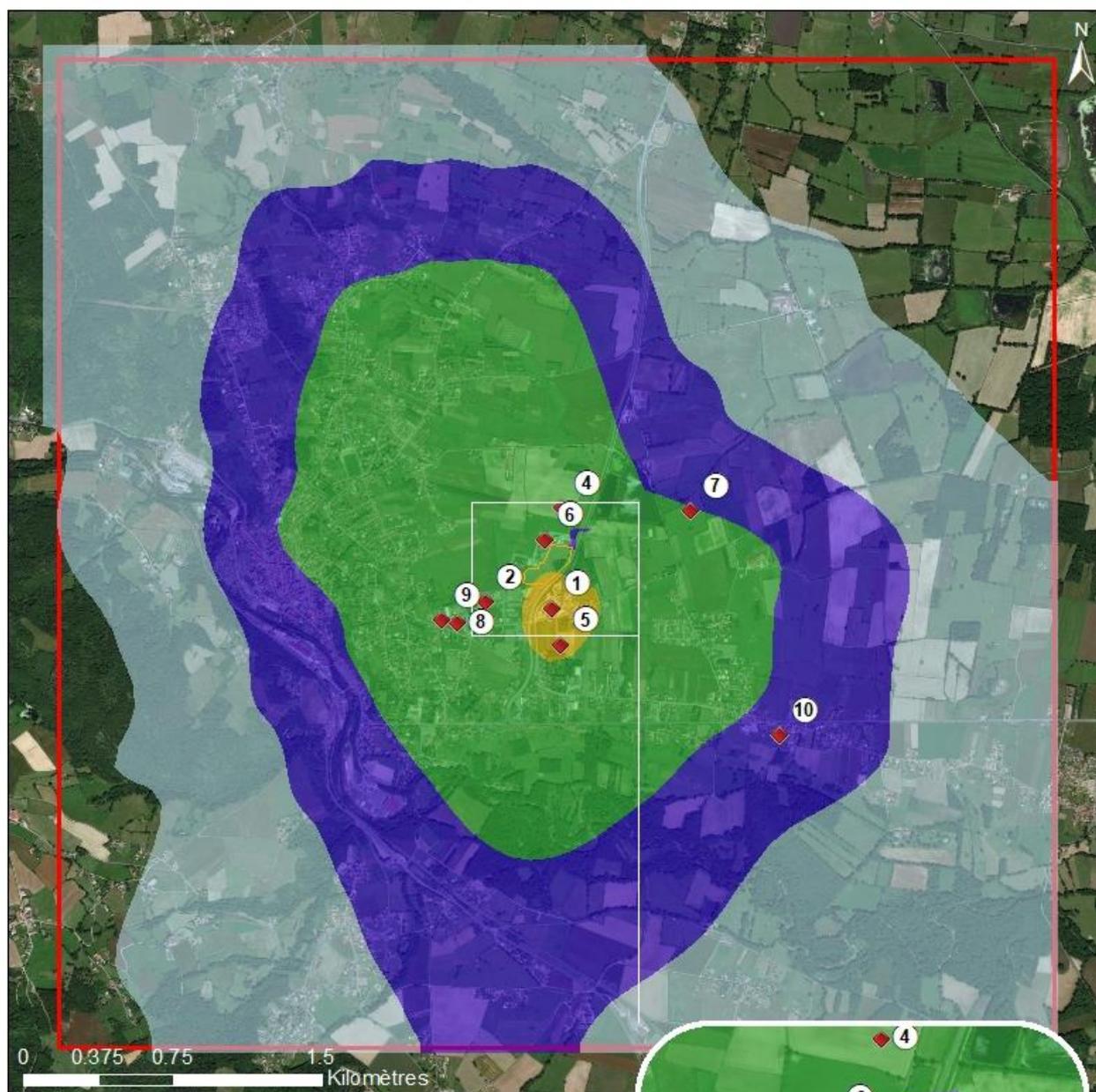




Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

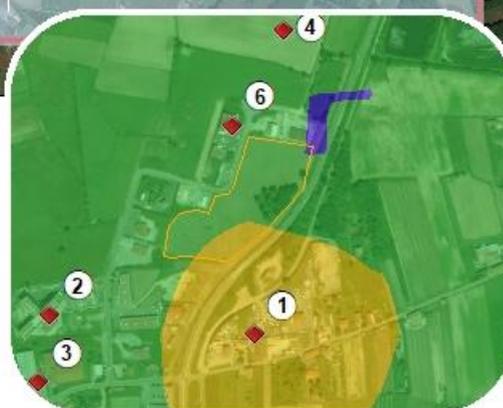
PM10	Domaine d'étude
< 0.05	Limite du site
0.05 - 0.1	Points cibles
0.1 - 0.3	
0.3 - 1	
> 1	

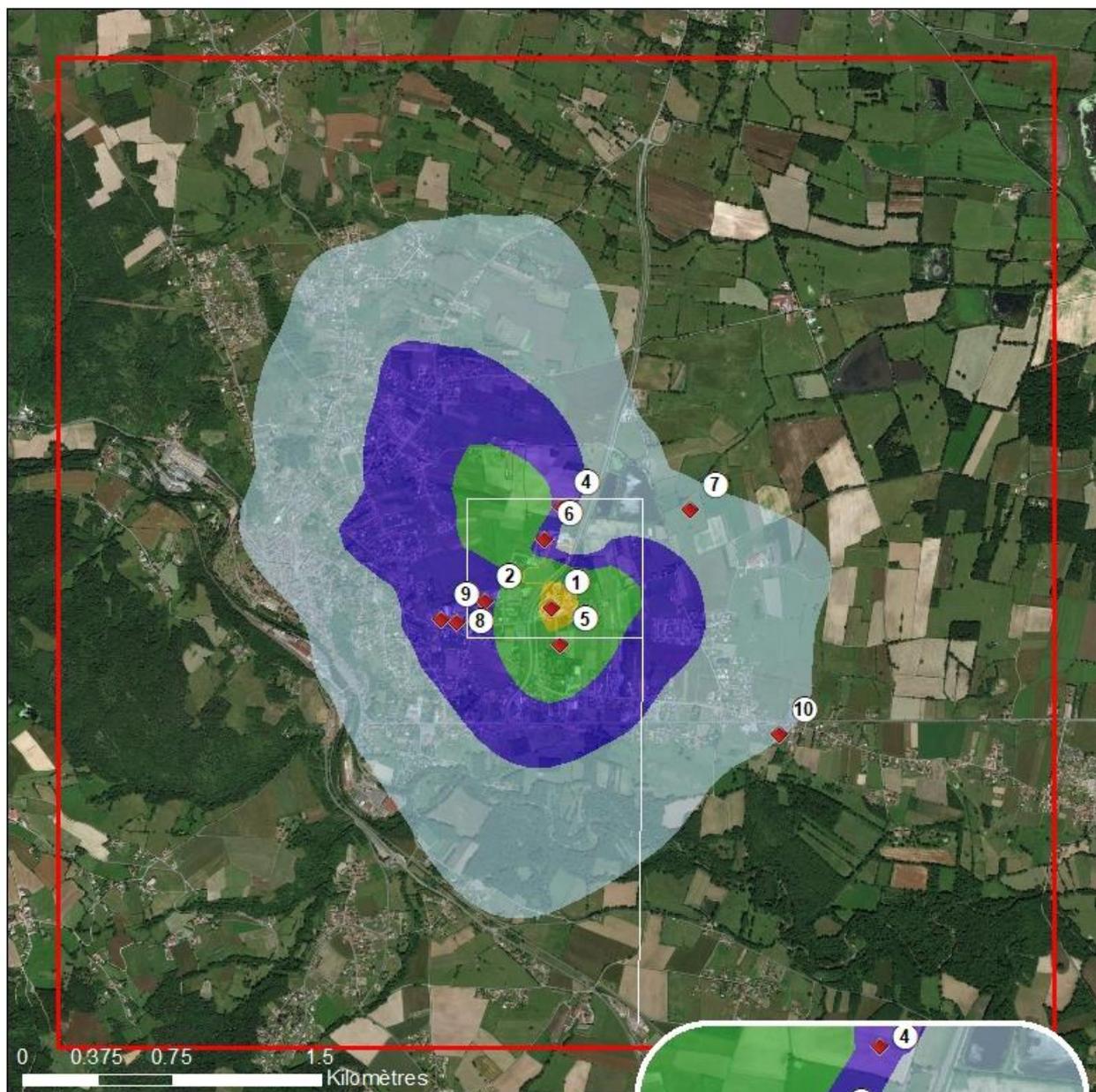




Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

SO2	Domaine d'étude
< 0.1	Limite du site
0.1 - 0.3	Points cibles
0.3 - 0.7	
0.7 - 4	
> 4	





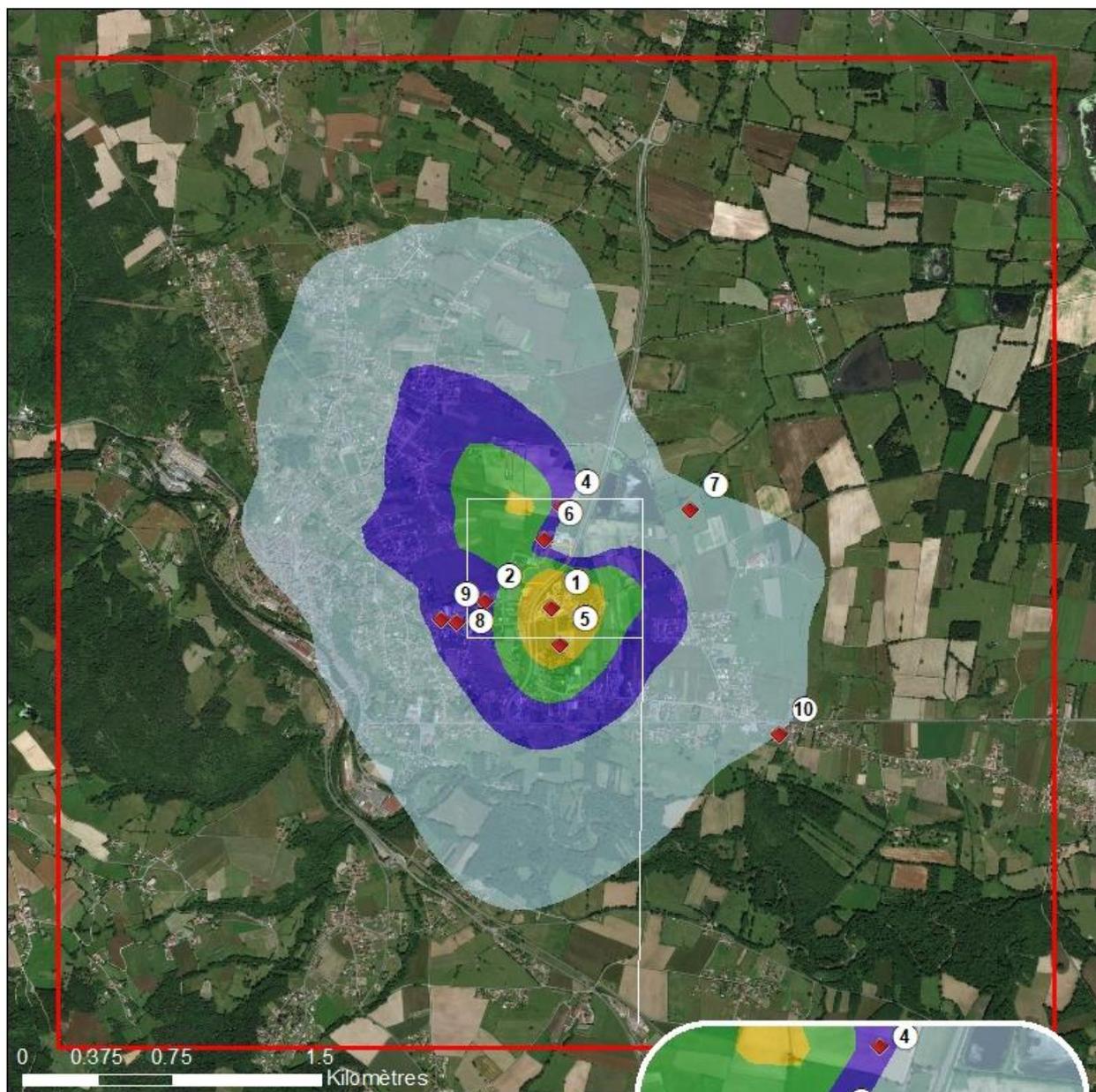
Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Benzo(a)pyrène

- < 0.00002
- 0.00002 - 0.00005
- 0.00005 - 0.0001
- 0.0001 - 0.0002
- > 0.0002

- Domaine d'étude
- Limite du site
- Points cibles





Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Benzène

- < 0.001
- 0.001 - 0.003
- 0.003 - 0.005
- 0.005 - 0.007
- > 0.007

- Domaine d'étude
- Limite du site
- Points cibles



Annexe 4 : Cartes de concentration en moyenne annuelle – scénario moyen



Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- | | |
|------------|-----------------|
| NO2 | Domaine d'étude |
| < 0.2 | Limite du site |
| 0.2 - 0.3 | Points cibles |
| 0.3 - 0.5 | |
| 0.5 - 3 | |
| > 3 | |





Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

PM2.5

- < 0.10
- 0.10 - 0.15
- 0.15 - 0.2
- 0.20 - 1.00
- > 1.00

- Domaine d'étude
- Limite du site
- Points cibles

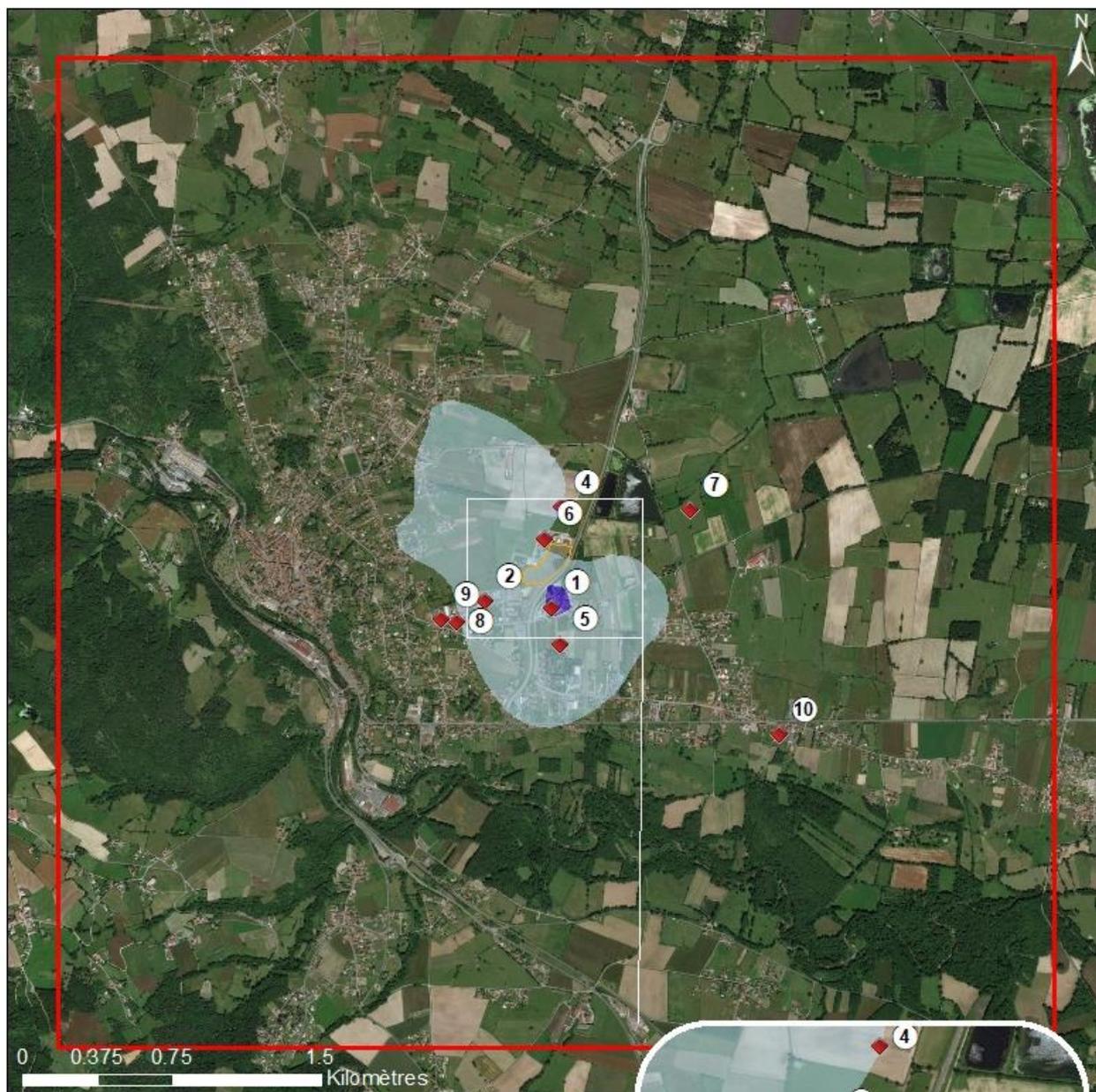




Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- | | |
|-------------|-----------------|
| PM10 | Domaine d'étude |
| < 0.05 | Limite du site |
| 0.05 - 0.1 | Points cibles |
| 0.1 - 0.3 | |
| 0.3 - 1 | |
| > 1 | |

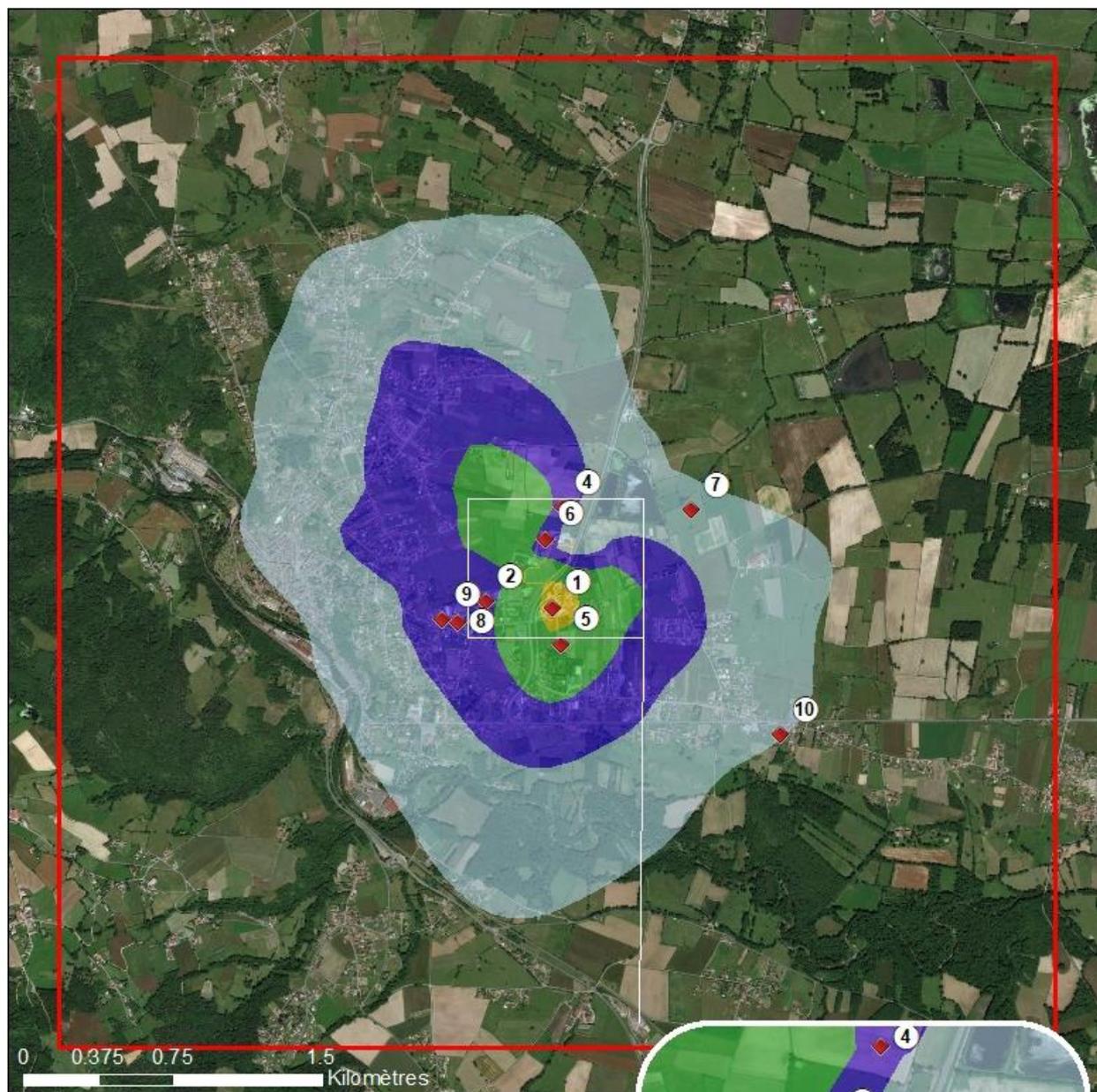




Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- | | |
|------------|-----------------|
| SO2 | Domaine d'étude |
| < 0.1 | Limite du site |
| 0.1 - 0.3 | Points cibles |
| 0.3 - 0.7 | |
| 0.7 - 4 | |
| > 4 | |





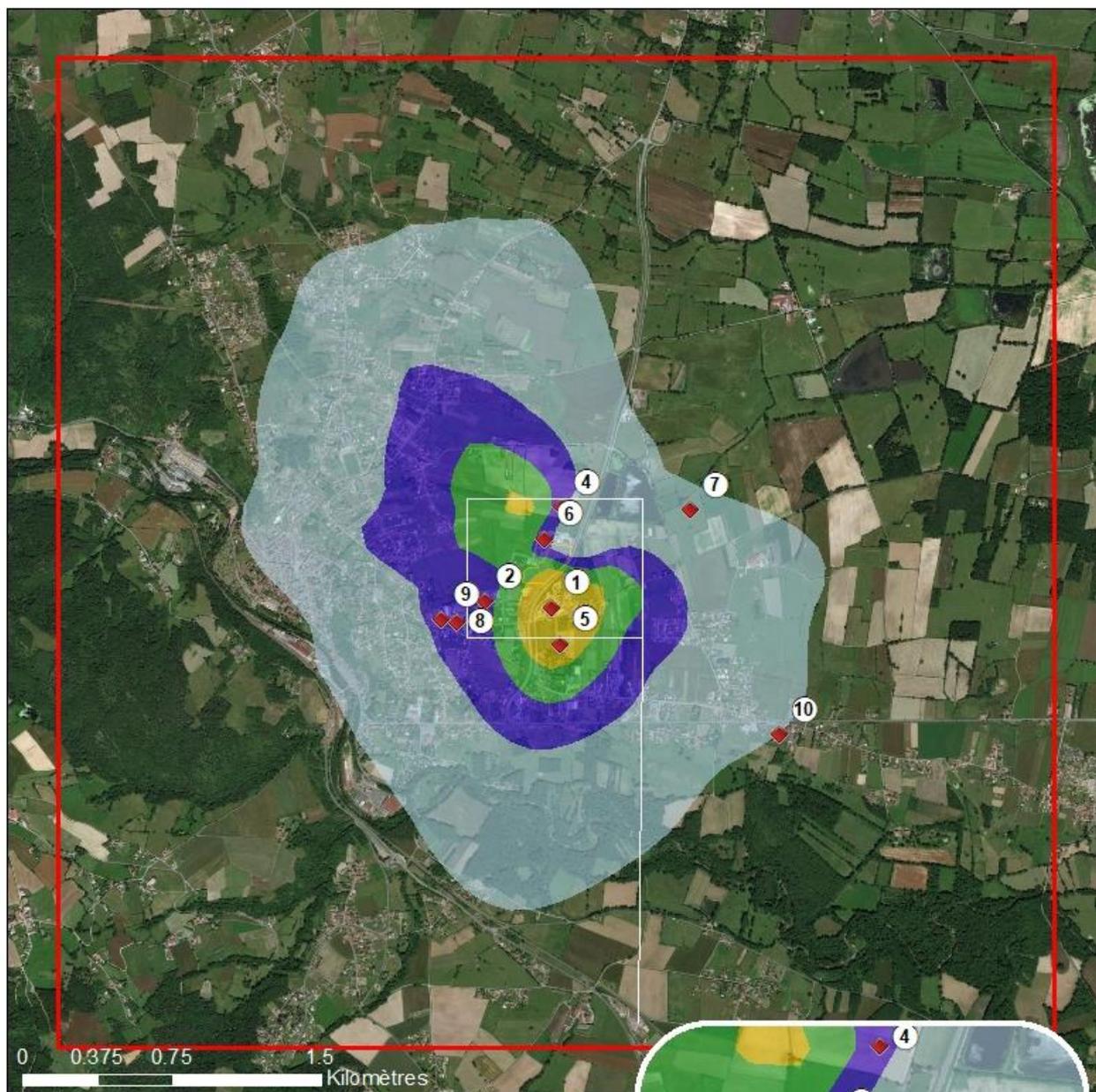
Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Benzo(a)pyrène

- < 0.00002
- 0.00002 - 0.00005
- 0.00005 - 0.0001
- 0.0001 - 0.0002
- > 0.0002

- Domaine d'étude
- Limite du site
- Points cibles



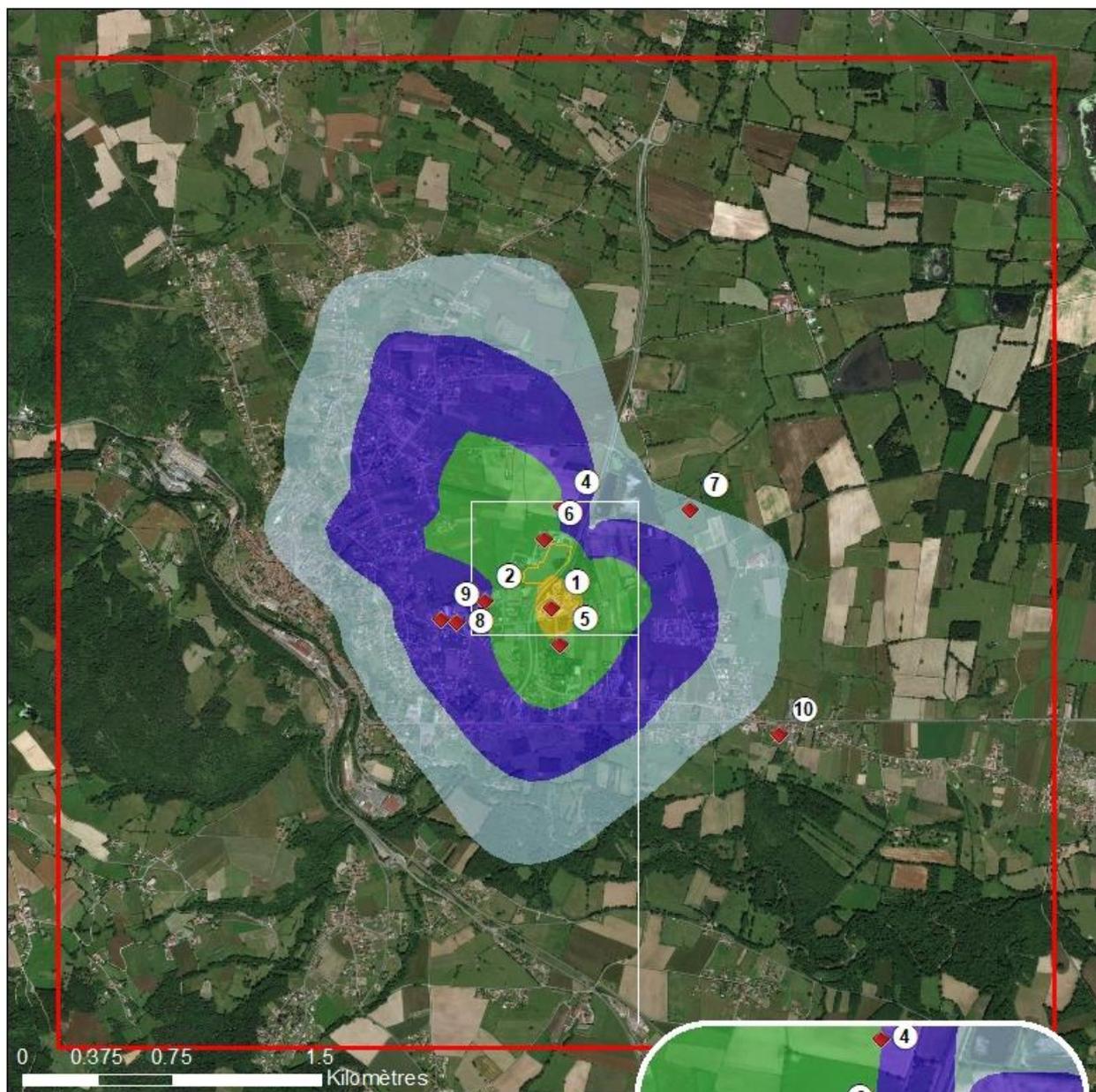


Concentration en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Benzène	Domaine d'étude
< 0.001	Limite du site
0.001 - 0.003	Points cibles
0.003 - 0.005	
0.005 - 0.007	
> 0.007	



Annexe 5 : Cartes de dépôts au sol – scénario max



Dépôts totaux (µg/m²/s)

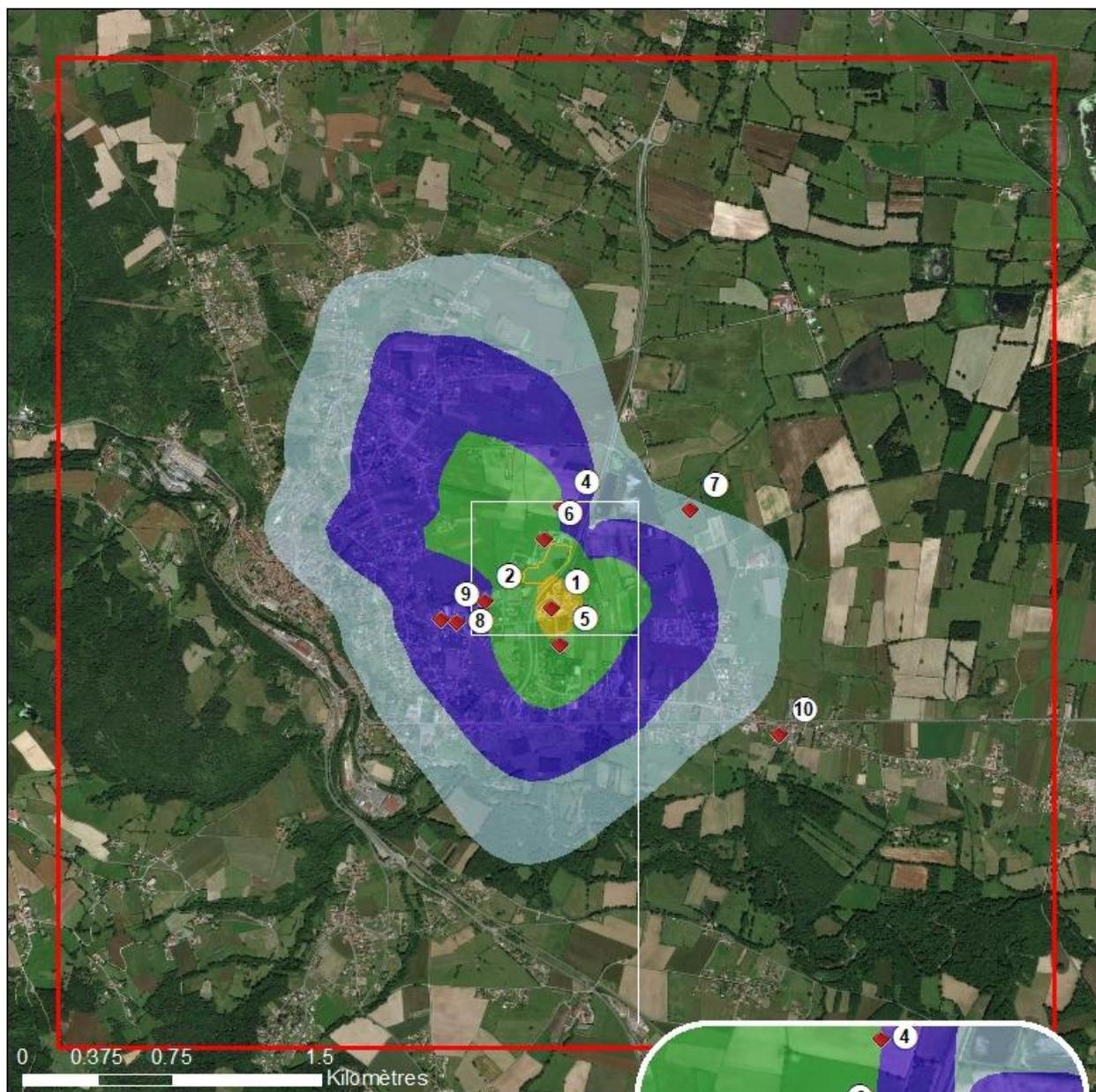
Benzo(a)pyrène

- < 1.5e-008
- 1.5e-008 - 2.5e-008
- 2.5e-008 - 5.0e-008
- 5.0e-008 - 1.0e-007
- > 1.0e-007

- Domaine d'étude
- Limite du site
- Points cibles



Annexe 6 : Cartes de dépôts au sol – scénario moyen

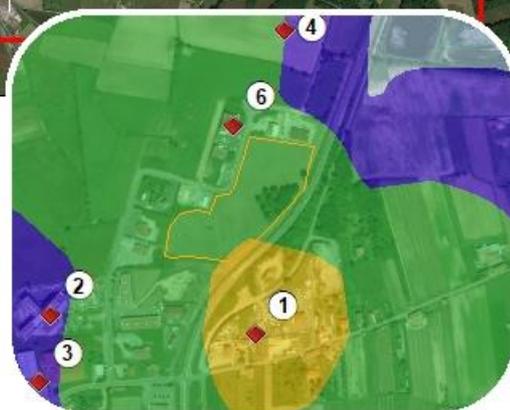


Dépôts totaux ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)

Benzo(a)pyrène

- $< 1.5\text{e-}008$
- $1.5\text{e-}008 - 2.5\text{e-}008$
- $2.5\text{e-}008 - 5.0\text{e-}008$
- $5.0\text{e-}008 - 1.0\text{e-}007$
- $> 1.0\text{e-}007$

- Domaine d'étude
- Limite du site
- Points cibles



Annexe 7 : Résultats par tranche d'âge de la caractérisation des risques sanitaires pour l'exposition par voie digestive

Tableau 49 : doses journalières d'exposition pour la voie digestive – scénario majorant

Classe d'âge	Apport par ingestion	Unité	Benzo(a)pyrène
Classe 1 : de 0 à 1 an	de sol	mg/kg/j	1.3E-08
	de végétaux	mg/kg/j	1.9E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	4.4E-09
	de lait maternel	mg/kg/j	-
	Apport total	mg/kg/j	3.6E-08
Classe 2 : de 1 à 3 ans	de sol	mg/kg/j	1.3E-08
	de végétaux	mg/kg/j	3.8E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	9.4E-09
	Apport total	mg/kg/j	6.1E-08
Classe 3 : de 3 à 6 ans	de sol	mg/kg/j	9.0E-09
	de végétaux	mg/kg/j	2.7E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	6.8E-09
	Apport total	mg/kg/j	4.3E-08
Classe 4 : de 6 à 11 ans	de sol	mg/kg/j	5.6E-09
	de végétaux	mg/kg/j	1.8E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	4.2E-09
	Apport total	mg/kg/j	2.7E-08
Classe 5 : de 11 à 15 ans	de sol	mg/kg/j	1.4E-09
	de végétaux	mg/kg/j	1.1E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	3.1E-09
	Apport total	mg/kg/j	1.6E-08
Classe 6 : de 15 à 18 ans	de sol	mg/kg/j	1.1E-09
	de végétaux	mg/kg/j	8.9E-09
	de produits animaux	mg/kg/j	2.4E-09
	Apport total	mg/kg/j	1.2E-08
Classe 7 : les plus de 18 ans	de sol	mg/kg/j	9.1E-10
	de végétaux	mg/kg/j	1.3E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	2.5E-09
	Apport total	mg/kg/j	1.7E-08
DJE pondérée sur 30 ans	de sol	mg/kg/j	1.6E-09
	de végétaux	mg/kg/j	1.9E-08
	de produits animaux	mg/kg/j	4.4E-09
	Apport total	mg/kg/j	9.8E-09