

Septembre 2019



**CEOTTO S.A.S**

## **Crématorium de Thiéblemont-Farémont**

### **Etude de dispersion et Estimation des doses d'exposition**

**Références** : Rapport ARIA/2019.055

**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](mailto: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

<b>ARIA Technologies</b>	<b>Titre :</b> Crématorium de Thiéblemont-Farémont – Etude de dispersion et Estimation des doses d'exposition						
<b>N° rapport ARIA</b>	19.055						
<b>N° action ARIA</b>	19.196						
<b>Nombre de pages</b>	59	<b>Nombre de figures</b>	10	<b>Nombre de tableaux</b>	21	<b>Nombre d'annexes</b>	5
<b>Auteur(s)</b>	ARIA Technologies, Anne-Sophie SAFFRE, Chef de projet – Qualité de l'air						
<b>Sous-traitants</b>	-						
<b>Intérêt documentaire</b>	Accessibilité		Confidentielle		Libre		
Oui		Non	ARIA Technologies		Restreinte		
<b>Etat du document</b>	Rédacteurs Nom/Date		Relecteur Nom/Date				
Version V1	Anne-Sophie SAFFRE Le 18/09/2019		Catherine SABASTIA Le 18/09/2019				
<b>DIFFUSION</b>	<b>Date</b>	<b>DESTINATAIRES</b>				<b>Nombre</b>	
Diffusion	19/09/2019	CEOTTO S.A.S				1	

---

## SOMMAIRE

---

<b>1. CADRE DE L'ETUDE.....</b>	<b>6</b>
<b>2. CARACTERISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Domaine d'étude .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Topographie .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Météorologie.....</b>	<b>9</b>
2.3.1 Données météorologiques .....	9
2.3.2 Analyse météorologique.....	9
<b>2.5 Points cibles.....</b>	<b>15</b>
<b>3. EMISSIONS .....</b>	<b>16</b>
<b>4. DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Présentation du logiciel de dispersion et paramétrages du modèle .....</b>	<b>17</b>
4.1.1 Présentation générale du logiciel .....	17
4.1.2 Paramétrages du modèle de dispersion.....	17
<b>4.2 Résultats des simulations .....</b>	<b>19</b>
4.2.1 Présentation des résultats.....	19
4.2.2 Réglementation de la qualité de l'air .....	19
4.2.3 Concentrations en moyenne annuelle .....	20
4.2.4 Dépôts au sol .....	23
<b>5. ESTIMATION DES DOSES PAR INGESTION .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Scénario d'exposition .....</b>	<b>25</b>
5.1.1 Cibles retenues .....	25
5.1.2 Voies d'exposition par ingestion retenues dans l'étude .....	26
<b>5.2 Détermination des concentrations dans les milieux d'exposition.....</b>	<b>26</b>
5.2.1 Détermination des concentrations dans les sols.....	26
5.2.2 Détermination des concentrations dans les végétaux .....	28
<b>5.3 Calcul des doses d'exposition par voie digestive .....</b>	<b>31</b>
<b>6. CONCLUSION.....</b>	<b>34</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>35</b>
<b>ANNEXE 1 : INCERTITUDES RELATIVES A LA MODELISATION ATMOSPHERIQUE .....</b>	<b>36</b>
<b>ANNEXE 2 : DESCRIPTION DU MODELE NUMERIQUE ARIA IMPACT .....</b>	<b>39</b>
<b>ANNEXE 3 : CARTES DE CONCENTRATION EN MOYENNE ANNUELLE .....</b>	<b>44</b>
<b>ANNEXE 4 : CARTES DE DEPOTS AU SOL .....</b>	<b>53</b>
<b>ANNEXE 5 : RESULTATS PAR TRANCHE D'AGE DE LA CARACTERISATION DES RISQUES SANITAIRES POUR L'EXPOSITION PAR VOIE DIGESTIVE .....</b>	<b>58</b>

---

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

### TABLEAUX

Tableau 1 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent toutes directions confondues .....	10
Tableau 2 : statistiques relatives à la pluviométrie - station de St Dizier .....	12
Tableau 3 : statistiques relatives à la température de l'air - station de St Dizier .....	13
Tableau 4 : points cibles retenus.....	15
Tableau 5 : caractéristiques des émissions retenues pour l'étude .....	16
Tableau 6 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées.....	18
Tableau 7 : réglementation en vigueur en France pour la santé humaine .....	19
Tableau 8 : concentrations en moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	21
Tableau 9 : dépôts totaux au sol moyens annuels ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ ).....	23
Tableau 10 : concentrations dans les sols.....	27
Tableau 11 : facteurs relatifs aux végétaux.....	29
Tableau 12 : concentrations dans les plantes dues au dépôt de particules (transfert dépôt/plante) ..	29
Tableau 13 : facteurs de bioconcentration air/plante ( $B_v$ exprimés par rapport à la plante fraîche)....	30
Tableau 14 : concentrations dans les végétaux (transfert air/plante).....	30
Tableau 15 : facteurs de bioconcentration sol/plante ( $B_r$ exprimés par rapport à la plante fraîche)....	30
Tableau 16 : concentrations dans les végétaux (transfert sol/plante) .....	31
Tableau 17 : contamination totale des plantes (via le sol, l'air et les dépôts de particules) .....	31
Tableau 18 : paramètres relatifs aux différentes catégories d'âge (données INERIS) .....	32
Tableau 19 : fraction d'aliments auto-produits (données INERIS).....	32
Tableau 20 : Dose Journalière d'Exposition totale pour chaque tranche d'âge .....	33
Tableau 21 : doses journalières d'exposition pour la voie digestive – scénario majorant .....	59

### FIGURES

Figure 1 : carte du domaine d'étude .....	7
Figure 2 : topographie du domaine d'étude (source : IGN) .....	8
Figure 3 : rose des vents générale – Station St Dizier – 2015 à 2017 (3 ans).....	10
Figure 4 : répartition des cas météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique .....	12
Figure 5 : variation moyenne mensuelle de la pluviométrie (période du 01/01/2015 au 31/12/2017 - station de St Dizier).....	13
Figure 6 : variation moyenne mensuelle de la température (période du 01/01/2015 au 31/12/2017- station de St Dizier).....	14
Figure 7 : localisation des points cibles .....	15
Figure 8 : carte de concentration en moyenne annuelle en oxyde d'azote.....	22
Figure 9 : carte de dépôts en poussières (PM10).....	24
Figure 10 : contamination des végétaux (EPA, 1998) .....	28

---

## GLOSSAIRE

---

COV	Composés Organiques Volatils
µg	microgrammes = $10^{-6}$ g
CO	monoxyde de carbone
fg	femtogrammes = $10^{-15}$ g
HCl	acide chlorhydrique
ng	nanogrammes = $10^{-9}$ g
NO <sub>2</sub>	dioxyde d'azote
NO <sub>x</sub>	oxydes d'azote assimilés au NO <sub>2</sub>
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PM <sub>2,5</sub>	poussières de diamètre inférieur à 2.5 µm
PM <sub>10</sub>	poussières de diamètre inférieur à 10 µm
SO <sub>2</sub>	dioxyde de soufre

## 1. CADRE DE L'ETUDE

---

La société CEOTTO S.A.S. a chargé ARIA Technologies de réaliser l'étude de dispersion des rejets atmosphériques du futur crématorium de Thiéblemont-Farémont (51) et d'estimer les doses d'exposition par ingestion associées.

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. CARACTERISTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE

### 2.1 DOMAINE D'ETUDE

Le domaine d'étude retenu est un carré de 6 km sur 6 km centré sur le futur crématorium.

*Figure 1 : carte du domaine d'étude*



## 2.2 TOPOGRAPHIE

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 75 mètres. La Figure 2 présente une vue 2D de la topographie sur le domaine d'étude. Le relief est compris entre 114 m NGF et 138 m NGF.

*Figure 2 : topographie du domaine d'étude (source : IGN)*





## 2.3 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.

### 2.3.1 Données météorologiques

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

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

Les données météorologiques proviennent de la station Météo-France de St Dizier pour les mesures de vent (direction et vitesse), de température, de nébulosité et de pluie. Cette station est située à environ 16 km à l'est du site.

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

### 2.3.2 Analyse météorologique

#### 2.3.2.1 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 :

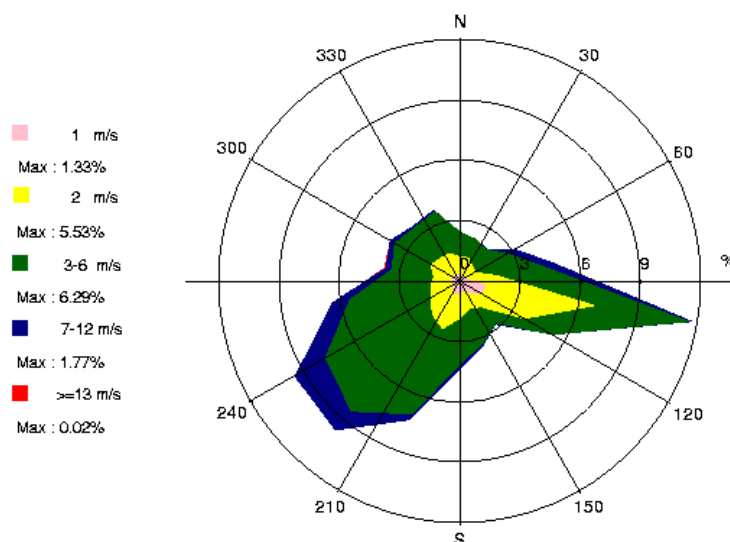
Vitesse du vent V	Rose des vents
$0,9 \text{ m/s} \leq V < 1,5 \text{ m/s}$	1 m/s
$1,5 \text{ m/s} \leq V < 2,5 \text{ m/s}$	2 m/s
$2,5 \text{ m/s} \leq V < 6,5 \text{ m/s}$	3-6 m/s
$6,5 \text{ m/s} \leq V < 12,5 \text{ m/s}$	7-12 m/s
$V \geq 12,5 \text{ m/s}$	$\geq 13 \text{ m/s}$

### 2.3.2.2 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 3 présente la rose des vents générale pour la station de St Dizier calculée à partir des données horaires sur la période 01/01/2015 au 31/12/2017. Le Tableau 1 synthétise les fréquences d'occurrence par classe de vitesse, toutes directions confondues.

*Figure 3 : rose des vents générale – Station St Dizier – 2015 à 2017 (3 ans)*



*Tableau 1 : 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	$\geq 13$
<b>Borne de l'intervalle</b>	$[0 ; 0,9[$	$[0,9 ; 1,5[$	$[1,5 ; 2,5[$	$[2,5 ; 6,5[$	$[6,5 ; 12,5[$	$[12,5 ; \infty[$
<b>Fréquence (%)</b>	9,7	9,6	25,8	45,9	8,9	0,0

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

- les roses des vents montrent deux directions privilégiées :
  - vents du **sud/sud-ouest** (33 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 200° et 260°<sup>1</sup>),
  - vents d'est (26,2 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 60° et 120°).
- sur l'ensemble des directions, les vents ont une vitesse moyenne de 3,0 m/s (10,6 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 19,3 % des observations dont 9,7 % de vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s soit 3,2 km/h) qui sont les plus pénalisants pour la dispersion des polluants ;
- les vents forts (de vitesse supérieure à 6,5 m/s soit 23,4 km/h) sont peu fréquents et représentent 8,9 % des observations.

### 2.3.2.3 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 :

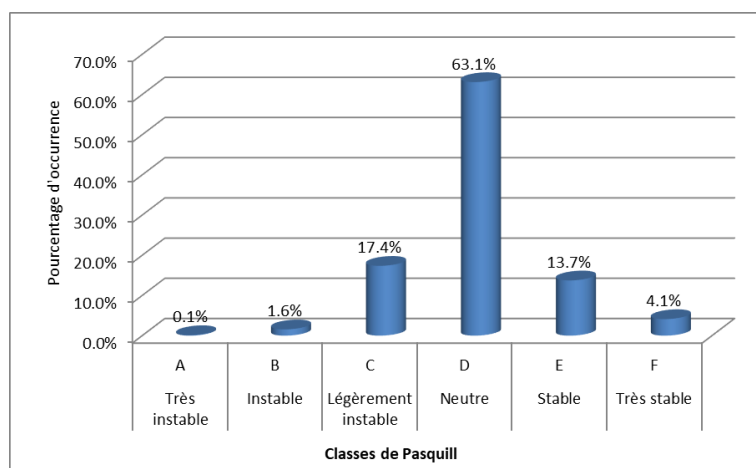
- *Classe A : Très instable*
- *Classe B : Instable*
- *Classe C : Légèrement instable*
- *Classe D : Neutre*
- *Classe E : Stable*
- *Classe F : Très stable*

La Figure 4 présente la répartition des cas météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique.

---

<sup>1</sup> 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.

*Figure 4 : répartition des cas météorologiques en fonction de la stabilité atmosphérique*



La classe D de Pasquill est la plus fréquemment observée (environ 63,1 %), ce qui est favorable pour la dispersion atmosphérique.

Les vents ont une vitesse moyenne d'environ 1,3 m/s en situation très stable - donc pénalisante pour la dispersion des émissions, tandis qu'en atmosphère neutre, elle est de 3,4 m/s.

#### **2.3.2.4 Pluviométrie**

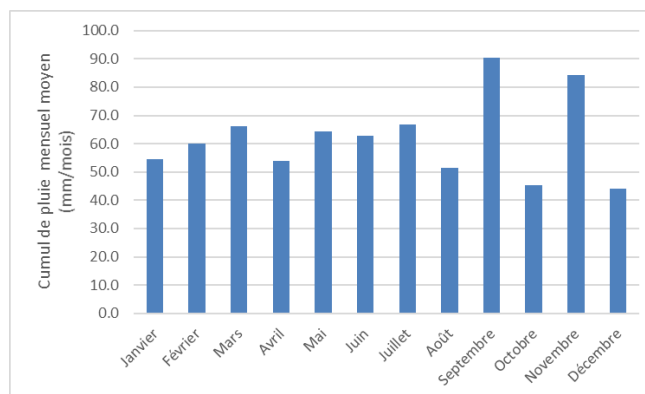
Dans le cadre de cette étude, nous avons tenu compte des données de pluviométrie recueillies sur la station de St Dizier.

*Tableau 2 : statistiques relatives à la pluviométrie - station de St Dizier*

	Pluviométrie annuelle (mm)
<b>2015</b>	608,5
<b>2016</b>	792,8
<b>2017</b>	829,3
<b>Moyenne</b>	743,5

Notons qu'en moyenne sur la période étudiée (du 01/01/2015 au 31/12/2017), il est tombé environ 743 mm de pluie par an, l'année 2017 étant l'année la plus pluvieuse (cf. Tableau 2).

*Figure 5 : variation moyenne mensuelle de la pluviométrie (période du 01/01/2015 au 31/12/2017 - station de St Dizier)*



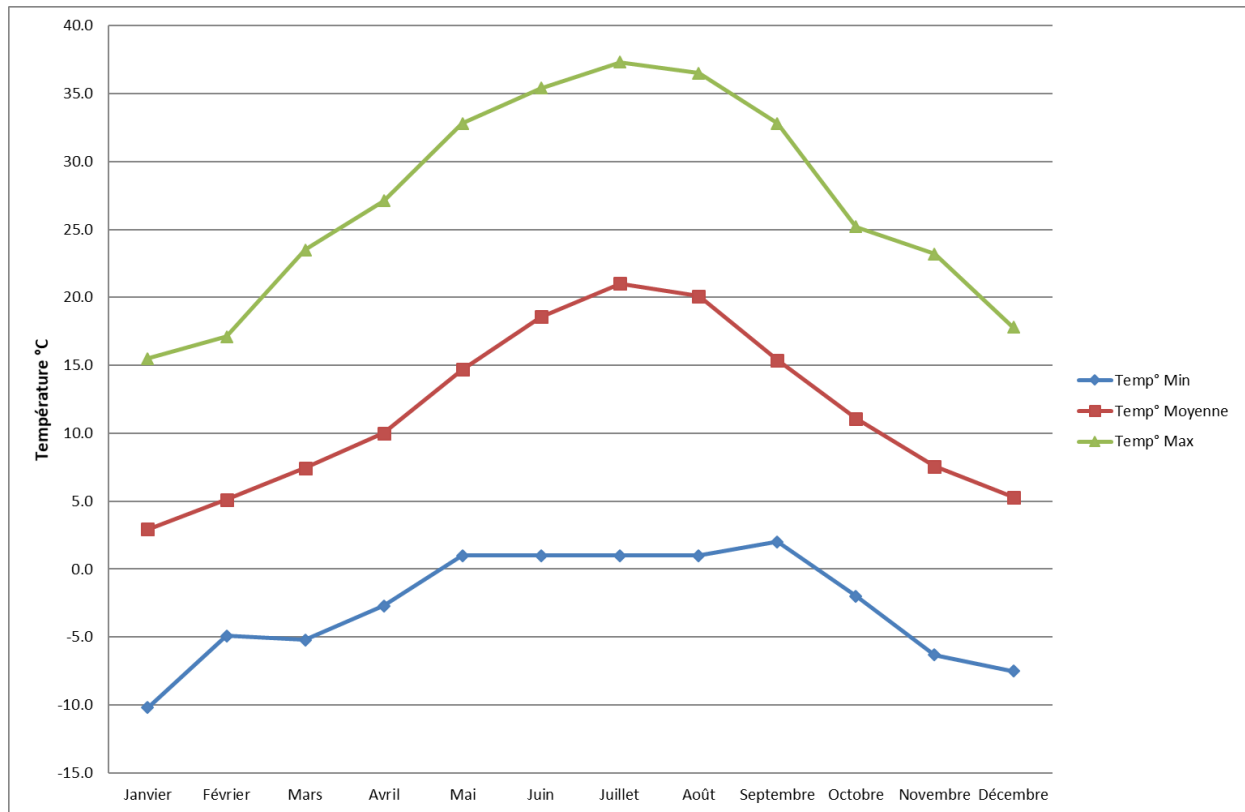
### 2.3.2.5 Températures

La température de l'air, dernier paramètre intervenant dans le processus de dispersion des polluants, est en moyenne de 11,6°C à la station de St Dizier pour les trois années d'observations et varie peu au cours des trois années comme le montre le Tableau 3. La Figure 6 présente les variations moyennes mensuelles de la température minimale, moyenne et maximale sur la période du 01/01/2015 au 31/12/2017.

*Tableau 3 : statistiques relatives à la température de l'air - station de St Dizier*

	Température moyenne (°C)
<b>2015</b>	12,1
<b>2016</b>	11,1
<b>2017</b>	11,6
<b>Moyenne</b>	<b>11,6</b>

Figure 6 : variation moyenne mensuelle de la température (période du 01/01/2015 au 31/12/2017- station de St Dizier)



## 2.5 POINTS CIBLES

L'impact lié au futur crématorium sur les habitations riveraines est quantifié au niveau de cinq points cibles. Il s'agit des premières habitations situées autour du site. Ces points cibles sont présentés sur la Figure 7 et dans le Tableau 4.

*Figure 7 : localisation des points cibles*



*Tableau 4 : points cibles retenus*

Id	Nom	X en km (L93)	Y en km (L93)
1	Ecole Primaire F Le Maire	827.442	6844.599
2	Orconte (centre village)	827.770	6842.480
3	Heiltz-le-Hutier (centre village)	830.204	6844.660
4	Mairie Thiéblemont	827.603	6844.693
5	EHPAD	827.342	6844.830

### 3. EMISSIONS

Les émissions prises en compte correspondent aux émissions atmosphériques de la cheminée du crématorium. Elles ont été fournies par le Client.

Le Tableau 5 présente les caractéristiques des émissions retenues pour l'étude.

*Tableau 5 : caractéristiques des émissions retenues pour l'étude*

	Unités	Cheminée
Coordonnée X (Lambert 93)	m	828 683
Coordonnée Y (Lambert 93)	m	6844 628
Hauteur par rapport au sol	m	7,5
Surface d'éjection	m <sup>2</sup>	0,17
Température des rejets	°C	120
Vitesse d'éjection (au débouché)	m/s	8
Débit	Nm <sup>3</sup> /h	1500
Nbre d'heures de fonctionnement	h	600
Plage de fonctionnement	-	8 h 30 à 17 h 30
<b>Flux</b>		
NO <sub>x</sub>	kg/an	360
SO <sub>2</sub>	kg/an	54
HCl	kg/an	13,5
Poussières*	kg/an	4,5
COV totaux	kg/an	18
CO	kg/an	22,5
PCDD/F	kg/an	4,5.10 <sup>-8</sup>
Mercuré	kg/an	0,09

\*Pour la modélisation, en l'absence de spéciation, les poussières seront assimilées une première fois à 100 % PM10 et une seconde fois à 100 % PM2,5.



## 4. DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR

### 4.1 PRESENTATION DU LOGICIEL DE DISPERSION ET PARAMETRAGES DU MODELE

#### 4.1.1 Présentation générale du logiciel

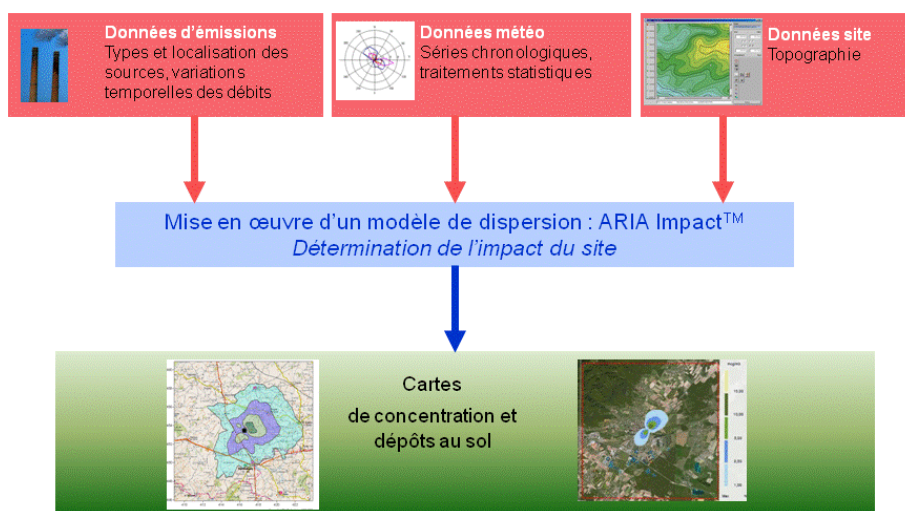
Le modèle utilisé pour cette analyse statistique est le logiciel ARIA Impact, version 1.8. Ce logiciel permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet de simuler plusieurs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



#### 4.1.2 Paramétrages du modèle de dispersion

Les hypothèses de calcul suivantes ont été prises en compte :

- une prise en compte simplifiée du relief ;
- un modèle de dispersion selon les écarts-types de Pasquill (modèle adapté pour les sites ruraux) ;
- une surélévation du panache due à la vitesse d'éjection et à la température des fumées suivant la formulation de Holland ;
- une maille de calcul de 50 mètres ;
- les émissions présentées au paragraphe 3.

#### 4.1.2.1 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.

#### 4.1.2.2 Caractéristiques des espèces

Le Tableau 6 résume les valeurs utilisées dans le cadre de cette étude pour le calcul des dépôts.

*Tableau 6 : 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 ( $\mu m$ )	Source biblio.
<b>Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)</b>	Gaz	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0	-
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Gaz	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0	[1]
<b>Poussières (PM<sub>10</sub>)</b>	Particules	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	10	[3]
<b>Poussières (PM<sub>2,5</sub>)</b>	Particules	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	2,5	[2]
<b>Acide chlorhydrique</b>	Gaz	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0	[4]
<b>COVNM</b>	Gaz	0	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0	-
<b>Dioxines</b>	Particules	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	1,3	[4]
<b>Mercure</b>	Gaz	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$	-	[2]

[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

[4] "Seasonal and annual deposition rates of sulphur, nitrogen and chloride species to an oak forest in north-eastern austria" (wolkersdorf, 240 m a.s.l.), Hans Puxbaum and Martin Gregori, *Atmospheric Environment Vol 32 (1998)*, 3557-3568

## 4.2 RESULTATS DES SIMULATIONS

### 4.2.1 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  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>(2)</sup> 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 7.

### 4.2.2 Réglementation de la qualité de l'air

Le Tableau 7 rappelle les valeurs réglementaires pour la qualité de l'air<sup>3</sup>.

*Tableau 7 : réglementation en vigueur en France pour la santé humaine*

Substances	Réglementation française	
	Objectif de qualité	Valeur limite (ou Valeur Cible)
<b>Particules fines &lt;10 <math>\mu\text{m}</math> (PM10)</b>	En moyenne annuelle : 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	En moyenne annuelle : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ En moyenne journalière : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (à ne pas dépasser plus de 35 jours par an = centile 90,4)
<b>Particules fines &lt;2,5 <math>\mu\text{m}</math> (PM2.5)</b>	En moyenne annuelle : 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	En moyenne annuelle : 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)</b>	En moyenne annuelle : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	En moyenne horaire : 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (à ne pas dépasser plus de 18h par an = centile 99,8)
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	En moyenne annuelle : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	En moyenne horaire : 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (à ne pas dépasser plus de 24 heures par an = centile 99,7) En moyenne journalière : 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (à ne pas dépasser plus de 3 jours par an = centile 99,2)
<b>Benzène</b>	En moyenne annuelle : 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

- **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 ;

<sup>2</sup> microgramme de polluant par mètre cube d'air. 1  $\mu\text{g}$  = 1.10<sup>-6</sup> g

<sup>3</sup> 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).

- **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.

### 4.2.3 Concentrations en moyenne annuelle

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

Le Tableau 8 présente 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 2.5).

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

- 0,4 % de l'objectif de qualité pour les oxydes d'azotes assimilés à du NO<sub>2</sub> ;
- 0,02 % de l'objectif de qualité pour les poussières assimilées à des PM<sub>2.5</sub> ;
- 0,05 % de l'objectif de qualité pour le SO<sub>2</sub> ;
- 0,01 % de l'objectif de qualité pour les poussières assimilées à des PM<sub>10</sub>.

A noter qu'il n'existe pas de valeurs réglementaires de la qualité de l'air en France pour les autres substances (COV, HCl, Dioxines).

La Figure 8 présente 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 8 correspondent à des concentrations en oxydes d'azote (assimilés au NO<sub>2</sub>) comprises entre 0,01 µg/m<sup>3</sup> et 0,05 µg/m<sup>3</sup>. 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 à l'est à environ 275 m du site, dans une zone de cultures.

*Tableau 8 : concentrations en moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )*

Unité		CO	COV	DIOXINES	HCL	MERCURE	NOX	Poussières PM10	Poussières PM2,5	SO2
1	Ecole Primaire F Le Maire	2.3E-04	1.9E-04	4.6E-13	1.4E-04	9.2E-07	3.7E-03	3.9E-05	4.2E-05	5.1E-04
2	Orconte (centre village)	4.7E-05	3.7E-05	9.3E-14	2.8E-05	1.9E-07	7.5E-04	7.0E-06	8.2E-06	9.8E-05
3	Heiltz-le-Hutier (centre village)	1.9E-04	1.5E-04	3.8E-13	1.2E-04	7.6E-07	3.1E-03	3.0E-05	3.4E-05	4.1E-04
4	Mairie Thiéblemont	3.2E-04	2.5E-04	6.3E-13	1.9E-04	1.3E-06	5.1E-03	5.4E-05	5.8E-05	7.0E-04
5	EHPAD	2.2E-04	1.7E-04	4.3E-13	1.3E-04	8.6E-07	3.5E-03	3.4E-05	3.9E-05	4.7E-04
<b>Point le plus exposé du domaine d'étude (à environ 275m au nord-est de la cheminée, zone inhabitée)</b>		<b>1.0E-02</b>	<b>8.2E-03</b>	<b>2.0E-11</b>	<b>6.1E-03</b>	<b>4.1E-05</b>	<b>1.6E-01</b>	<b>2.2E-03</b>	<b>2.0E-03</b>	<b>2.4E-02</b>

Figure 8 : carte de concentration en moyenne annuelle en oxyde d'azote



#### 4.2.4 Dépôts au sol

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

Le Tableau 9 présente 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 2.5).

*Tableau 9 : dépôts totaux au sol moyens annuels ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )*

Unité	Dioxines	Mercure	Poussières PM10	Poussières PM2,5
1 Ecole Primaire F Le Maire	3.2E-09	2.6E-09	2.4E-16	1.9E-09
2 Orconte (centre village)	1.2E-09	9.6E-10	4.9E-17	7.2E-10
3 Heiltz-le-Hutier (centre village)	1.7E-08	1.4E-08	2.2E-16	1.0E-08
4 Mairie Thiéblemont	3.2E-09	2.6E-09	3.2E-16	1.9E-09
5 EHPAD	2.6E-09	2.1E-09	2.2E-16	1.6E-09
<b>Point le plus exposé du domaine d'étude (à environ 50 m au nord-est de la cheminée, zone inhabitée)</b>	<b>2.1E-14</b>	<b>1.5E-07</b>	<b>8.3E-05</b>	<b>1.7E-05</b>

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 :  $200 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{jour} = 730 \text{ kg}/\text{ha}/\text{an}$
- l'Allemagne :  $350 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{jour} = 1\,270 \text{ kg}/\text{ha}/\text{an}$

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  $1\,000 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{jour}$  soit  $3\,650 \text{ kg}/\text{ha}/\text{an}$ . Cette valeur est très élevée comparée aux valeurs obtenues par les simulations.

La Figure 9 présente la carte des dépôts sur le domaine d'étude pour les poussières (PM10). Les dépôts maximaux se retrouvent principalement à proximité du site. Les cartes pour les autres polluants sont présentées en Annexe 4.

Figure 9 : carte de dépôts en poussières (PM10)





## 5. ESTIMATION DES DOSES PAR INGESTION

Il existe pour certains éléments (mercure, dioxines) 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.

### 5.1 SCENARIO D'EXPOSITION

Dans cette étude, l'exposition des populations est prise égale à **30 ans**. 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 :

- $D_{pop} = D_{cult} = D_{pât} = \text{Dépôt max hors du site}$

#### 5.1.1 Cibles retenues

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

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

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

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.

### 5.1.2 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.

La voie d'ingestion de produits animaux (viande bovine, porc, volaille, lait et produit laitier) n'est pas convertie en l'absence d'élevage sur la zone d'étude (données fournies par le Client).

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 d'origine locale (EPA, HHRAP)<sup>4</sup>.

## 5.2 DETERMINATION 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)<sup>5</sup>.

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

### 5.2.1 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 :

- $C_{\text{sol}}$  : concentration dans le sol (mg/kg)
- D : quantité de dépôt sur le sol (mg/m<sup>2</sup>/an)
- T : durée d'exposition (année)
- $\rho$  : densité du sol (kg/m<sup>3</sup>)
- h : hauteur du sol (m)

<sup>4</sup> EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion facilities. July 1998. EPA530-D-98-001A.

<sup>5</sup> EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion facilities. July 1998. EPA530-D-98-001A.

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 :  $T= 30\ \text{ans}$

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-GIC<sup>6</sup>). Les concentrations dans les sols ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 10.

Pour le mercure, il est retenu la spéciation suivante selon les recommandations INERIS.

<i>Pourcentages appliqués aux dépôts en mercure total pour tenir compte de la spéciation du mercure dans les divers compartiments environnementaux</i>		
Formes de mercure	Dépôt pour l'ingestion de sol	Dépôt pour l'ingestion de produits animaux et végétaux
Mercure élémentaire	98 %	78 %
Méthylmercure	2 %	22 %

Pour les dioxines, il a été retenu la 2,3,7,8 dioxines, la plus toxique.

*Tableau 10 : concentrations dans les sols*

Substance	ZONE DE POPULATION		ZONE DE CULTURE	
	Dpop (mg/m <sup>2</sup> /an)	concentration dans la zone d'habitation la plus exposée dans 30 ans	Dcult (mg/m <sup>2</sup> /an)	concentration dans la zone de culture la plus exposée dans 30 ans
		dans le 1er cm (mg/kg sol)		dans les 20 premiers cm (mg/kg sol)
Mercure inorganique	4.5E-03	1.0E-02	3.6E-03	4.1E-04
Méthylmercure	9.2E-05	2.1E-04	1.0E-03	1.2E-04
2,3,7,8 dioxines	6.6E-10	1.5E-09	6.6E-10	7.6E-11

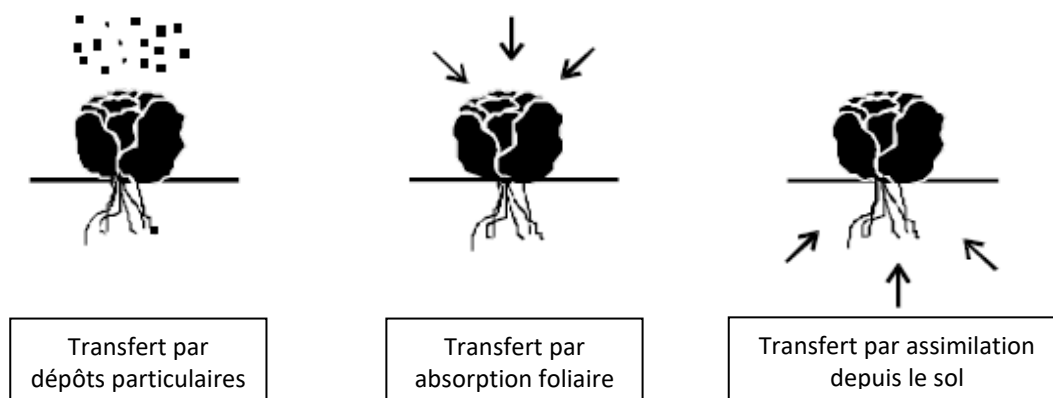
<sup>6</sup> « Mise à jour de l'étude de l'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion », INERIS, Décembre 2004

## 5.2.2 Détermination des concentrations dans les végétaux

La contamination des végétaux a trois origines (cf. Figure 10) :

- 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 10 : 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/m<sup>2</sup>/an)

$R_p$  : fraction interceptée par les cultures (-)

$k_p$  : coefficient de perte sur la surface de la plante (année<sup>-1</sup>) - effet « weathering »

$T_p$  : durée de culture (année)

$Y_p$  : rendement de production (kg sec/m<sup>2</sup>)

$t_{ms}$  : teneur en matière sèche de la plante (-)

Les facteurs relatifs aux végétaux utilisés sont issus des rapports de l'INERIS<sup>7/8</sup> et sont présentées dans le Tableau 11.

<sup>7</sup> INERIS. Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, INERIS (mai 2003).

<sup>8</sup> « 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 11 : facteurs relatifs aux végétaux*

Type de plante	t <sub>ms</sub>	Y <sub>p</sub> (kg sec /m <sup>2</sup> )	R <sub>p</sub>	K <sub>p</sub> (an <sup>-1</sup> )	T <sub>p</sub> (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

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 12.

*Tableau 12 : 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)
Méthylmercure	4.0E-06	3.2E-07	1.7E-06
Mercure inorganique	1.4E-05	1.1E-06	6.0E-06
2,3,7,8 dioxines	2.6E-12	2.1E-13	1.1E-12

### 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<sub>gp</sub> : concentration dans les plantes due à l'absorption foliaire (mg/kg frais)

C<sub>a</sub> : concentration de polluant dans l'air (µg/m<sup>3</sup>)

B<sub>v</sub> : coefficient de bio-transfert air-plante (m<sup>3</sup>/kg frais)

F<sub>v</sub> : 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<sub>v</sub>) utilisés sont présentés dans le Tableau 13 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 13 : 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 <sup>3</sup> /kg frais	m <sup>3</sup> /kg frais	m <sup>3</sup> /kg frais	m <sup>3</sup> /kg frais	
Méthylmercure	0	0	0	0	HHRAP 2005
Mercure inorganique	0	0	0	0	HHRAP 2005
2,3,7,8 dioxines	10300	10300	10300	10300	GIC rev 2004

Les concentrations dans l'air sont celles calculées par le modèle de dispersion et présentées dans la partie 4.2.3.

Les concentrations en polluant ainsi calculées dans les végétaux sont présentées dans le Tableau 14.

*Tableau 14 : 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	
Méthylmercure	0	0	0	0
Mercure inorganique	0	0	0	0
2,3,7,8 dioxines	1.4E-12	1.4E-12	1.4E-12	1.4E-12

#### **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 15 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)<sup>9</sup>. Les données HHRAP ont été privilégiées pour la transparence des sources d'informations et sa mise à jour récente.

*Tableau 15 : 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	Source biblio
unité	kg sol sec/kg frais de plante						
Méthylmercure	1.98E-02	2.53E-03	1.85E-03	4.41E-03	1.68E-02	0.00E+00	HHRAP 2005
Mercure inorganique	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	3.00E-01	1.20E+00	HHRAP 2005
2,3,7,8 dioxines	5.00E-03	3.91E-04	2.87E-04	6.83E-04	4.01E-03	9.10E-04	HHRAP 2005

<sup>9</sup> GNRC, Rapport détaillé du GT3 (source : IPSN/DPHD/SAER) – 1999 et son annexe VIII-2

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

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 ainsi calculées dans les végétaux sont présentées dans le Tableau 16.

*Tableau 16 : 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	
Méthylmercure	2.3E-06	3.0E-07	2.2E-07	5.2E-07	2.0E-06	0.0E+00
Mercure inorganique	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	1.2E-04	0.0E+00
2,3,7,8 dioxines	3.8E-13	3.0E-14	2.2E-14	5.2E-14	3.1E-13	0.0E+00

### **Contamination totale des plantes**

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

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

Avec :

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

Les concentrations totales dans les plantes ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 17.

*Tableau 17 : 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
Méthylmercure	2.31E-06	4.30E-06	5.35E-07	2.20E-06	2.07E-05	1.96E-06
Mercure inorganique	1.24E-04	1.39E-04	1.25E-04	1.30E-04	1.07E-03	1.24E-04
2,3,7,8 dioxines	3.80E-13	4.03E-12	1.62E-12	2.54E-12	1.50E-11	3.05E-13

### **5.3 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.

- $Q_i$  : 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 5.2 .

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'INERIS<sup>10</sup> et utilisées dans le logiciel MODUL'ERS pour chaque catégorie d'âge (cf. Tableau 18).

*Tableau 18 : 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
<b>Poids (kg)</b>	7,6	12,4	17,8	28,7	47,2	60	70,4
<b>Consommation de terre</b>							
<b>Quantité de terre ingérée (mg/j)</b>	30	50	50	50	20	20	20
<b>Consommation de légumes et fruits</b>							
<b>Quantité de fruit ingérée (g/j)</b>	16	53	90	90	83	82	160
<b>Quantité de tubercules ingérée (g/j)</b>	18	52	46	46	58	60	58
<b>Quantité de légume racine ingérée (g/j)</b>	15	26	7	7	9	9	12
<b>Quantité de légume feuille ingérée (g/j)</b>	7	22	8	10	12	12	24
<b>Quantité de légume fruit ingérée (g/j)</b>	11	40	66	64	70	72	110
<b>Quantité de fruit ingérée (g/j)</b>	16	53	90	90	83	82	160

*Tableau 19 : 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

Les Doses Journalières d'Exposition liées au site ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 20 (détail en Annexe 5).

<sup>10</sup> Rapport INERIS-DRC-14-141968-11173C (juin 2017) – Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS



*Tableau 20 : Dose Journalière d'Exposition totale pour chaque tranche d'âge*

Classe d'âge	Unités	Méthylmercure	Mercure inorganique	2,3,7,8 dioxines
DJE Classe 1 : de 0 à 1 an	mg/kg/j	8.6E-09	5.0E-07	1.1E-14
DJE Classe 2 : de 1 à 3 ans	mg/kg/j	1.4E-08	8.5E-07	1.6E-14
DJE Classe 3 : de 3 à 6 ans	mg/kg/j	7.9E-09	6.1E-07	1.2E-14
DJE Classe 4 : de 6 à 11 ans	mg/kg/j	5.1E-09	3.8E-07	7.3E-15
DJE Classe 5 : de 11 à 15 ans	mg/kg/j	3.3E-09	2.5E-07	3.6E-15
DJE Classe 6 : de 15 à 18 ans	mg/kg/j	2.7E-09	2.0E-07	2.9E-15
DJE Enfant (moyenne classes 1 à 6)	mg/kg/j	3.3E-09	2.5E-07	3.8E-15
DJE Adulte (classe 7 : les plus de 18 ans)	mg/kg/j	2.0E-09	1.5E-07	2.5E-15
DJE pondérée sur 30 ans	mg/kg/j	8.6E-09	5.0E-07	1.1E-14

## 6. CONCLUSION

---

La société CEOTTO S.A.S. a chargé ARIA Technologies de réaliser l'étude de dispersion des rejets atmosphériques du futur crématorium de Thiéblemont-Farémont (dépt) et d'estimer les doses d'exposition par ingestion.

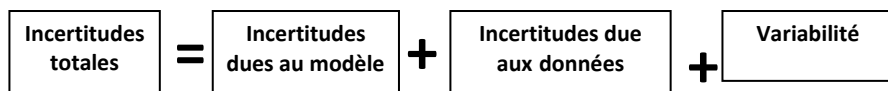
Les résultats de cette étude sont les suivants :

- Les concentrations calculées en moyenne annuelle sont très inférieures à l'objectif de qualité de l'air (quand ils existent).
- La trace au sol des concentrations en moyenne annuelle reflète bien les caractéristiques de la rose des vents générale avec une zone d'impact située au nord-est du site, liée aux vents dominants venant du sud-ouest. La zone la plus exposée est située à environ 300 mètres de la cheminée, dans une zone inhabitée (zone de culture).

# ANNEXES

# **Annexe 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 :



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.

### **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 « Prairie 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](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 SO<sub>2</sub>. 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.

### **Incertainces liées aux données d'entrée**

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

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

#### *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. Rappelons qu'il a été choisi de retenir les Valeurs Limites à l'Emission et non les valeurs réellement mesurées, ce qui constitue une hypothèse majorante.

#### *Incertitudes liées aux mesures météorologiques*

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

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.

#### *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.

#### *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.

## **Annexe 2 : Description du modèle numérique ARIA Impact**

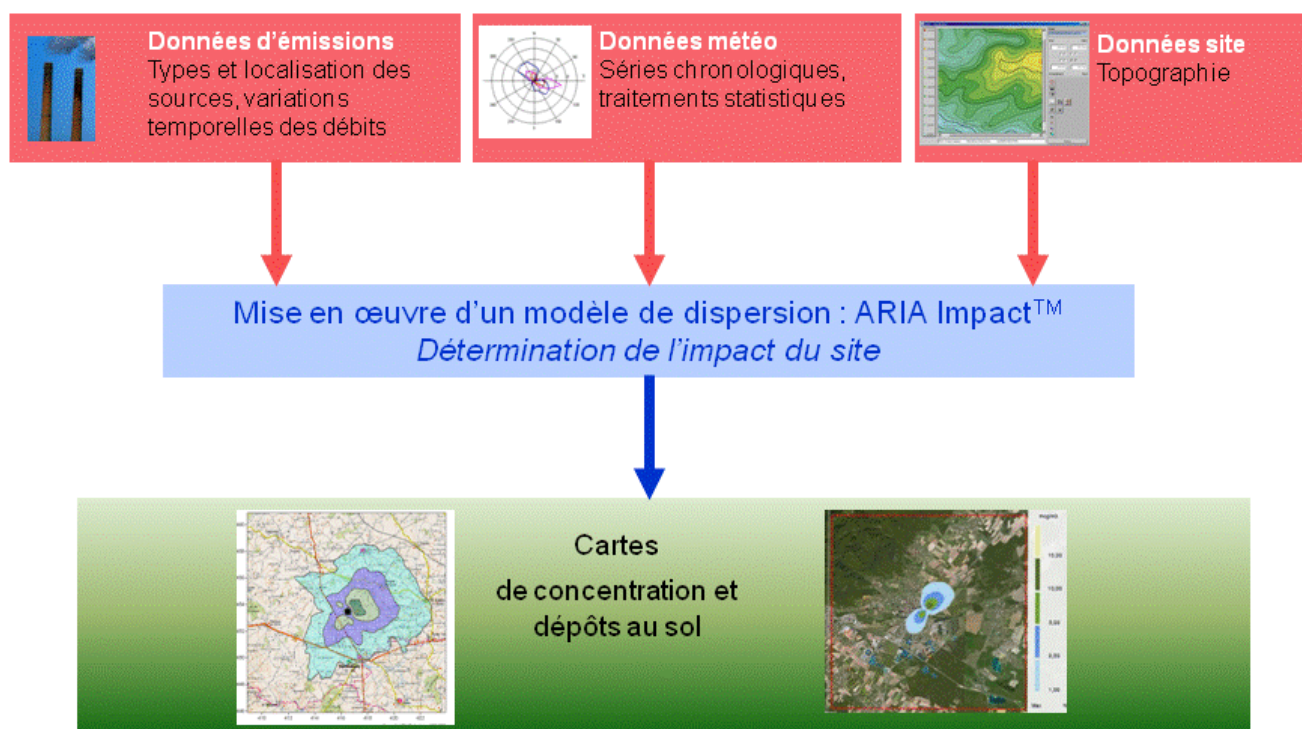
## Présentation générale

**ARIA Impact™** est un modèle de type "gaussien", conforme aux recommandations de l'E.P.A.<sup>11</sup>. 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 :



<sup>11</sup> 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<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>...) : 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.

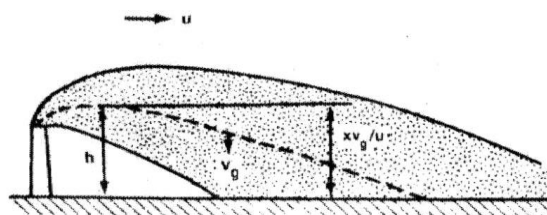
### Variation temporelle des émissions

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.

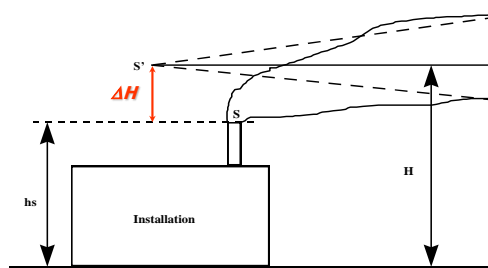
Afin de prendre en compte cette variation de vitesse de vent dans les calculs de la dispersion des polluants atmosphériques, le logiciel ARIA Impact™ peut calculer des profils verticaux de vent en fonction des mesures de vent au sol, de la turbulence atmosphérique et de l'occupation des sols, afin de 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 NO<sub>2</sub>

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 NO<sub>2</sub> 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 :

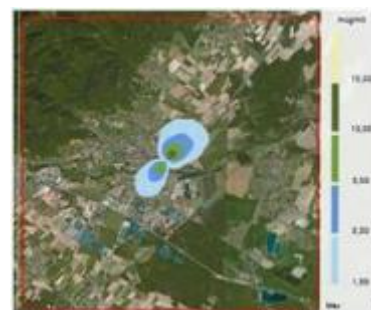
- **moyennes mensuelles et/ou annuelles** de polluant autour du site, en concentrations et dépôts au sol,
- **fréquences de dépassement de seuils** en moyennes journalières ou horaires (normes françaises et européennes),
- **centiles 98, 99.8, 100** ou autres valeurs de centiles sur une base de calcul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

Les résultats de concentrations peuvent être exprimés en µg/m<sup>3</sup>, ng/m<sup>3</sup>, pg/m<sup>3</sup> ou fg/m<sup>3</sup> pour les polluants classiques, en uo/m<sup>3</sup> pour les odeurs et en Bq/m<sup>3</sup> 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.

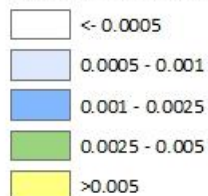


## **Annexe 3 : Cartes de concentration en moyenne annuelle**



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

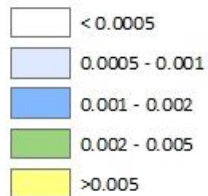
Monoxyde de carbone (CO)





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

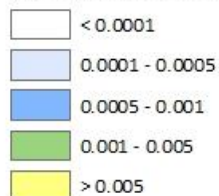
COV





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

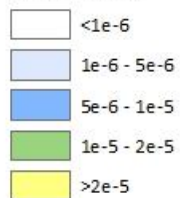
Acide chlorhydrique (HCl)





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

Mercure (Hg)

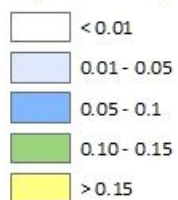






Concentration en moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

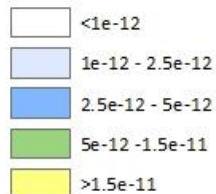
Oxydes d'azote (NOx)





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

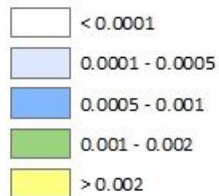
Dioxines/furanes (PCDD/F)





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

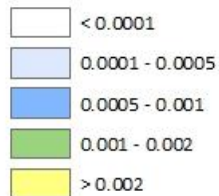
Poussières (PM10)





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

Poussières (PM<sub>2,5</sub>)

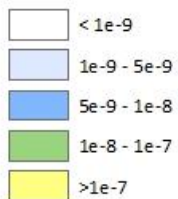


## **Annexe 4 : Cartes de dépôts au sol**



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

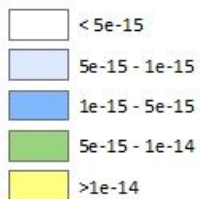
Mercure (Hg)





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

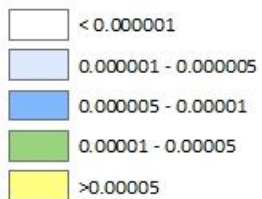
Dioxines





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

Poussières (PM10)

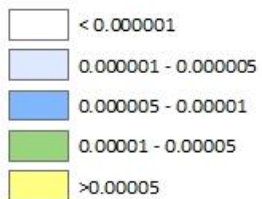






Dépôts au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )

Poussières (PM<sub>2,5</sub>)



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

*Tableau 21 : doses journalières d'exposition pour la voie digestive – scénario majorant*

Classe d'âge	Apport par ingestion	Unité	Méthylmercure	mercure inorganique	2,3,7,8 dioxines
Classe 1 : de 0 à 1 an	de sol	mg/kg/j	8.4E-10	4.1E-08	6.0E-15
	de végétaux	mg/kg/j	7.7E-09	4.6E-07	4.9E-15
	de produits animaux	mg/kg/j	-	-	-
	<b>Apport total</b>	<b>mg/kg/j</b>	<b>8.6E-09</b>	<b>5.0E-07</b>	<b>1.1E-14</b>
Classe 2 : de 1 à 3 ans	de sol	mg/kg/j	8.6E-10	4.2E-08	6.1E-15
	de végétaux	mg/kg/j	1.3E-08	8.1E-07	9.7E-15
	de produits animaux	mg/kg/j	-	-	-
	<b>Apport total</b>	<b>mg/kg/j</b>	<b>1.4E-08</b>	<b>8.5E-07</b>	<b>1.6E-14</b>
Classe 3 : de 3 à 6 ans	de sol	mg/kg/j	6.0E-10	2.9E-08	4.3E-15
	de végétaux	mg/kg/j	7.3E-09	5.8E-07	7.3E-15
	de produits animaux	mg/kg/j	-	-	-
	<b>Apport total</b>	<b>mg/kg/j</b>	<b>7.9E-09</b>	<b>6.1E-07</b>	<b>1.2E-14</b>
Classe 4 : de 6 à 11 ans	de sol	mg/kg/j	3.7E-10	1.8E-08	2.6E-15
	de végétaux	mg/kg/j	4.7E-09	3.6E-07	4.6E-15
	de produits animaux	mg/kg/j	-	-	-
	<b>Apport total</b>	<b>mg/kg/j</b>	<b>5.1E-09</b>	<b>3.8E-07</b>	<b>7.3E-15</b>
Classe 5 : de 11 à 15 ans	de sol	mg/kg/j	9.0E-11	4.4E-09	6.4E-16
	de végétaux	mg/kg/j	3.2E-09	2.4E-07	3.0E-15
	de produits animaux	mg/kg/j	-	-	-
	<b>Apport total</b>	<b>mg/kg/j</b>	<b>3.3E-09</b>	<b>2.5E-07</b>	<b>3.6E-15</b>
Classe 6 : de 15 à 18 ans	de sol	mg/kg/j	7.1E-11	3.5E-09	5.1E-16
	de végétaux	mg/kg/j	2.6E-09	2.0E-07	2.4E-15
	de produits animaux	mg/kg/j	-	-	-
	<b>Apport total</b>	<b>mg/kg/j</b>	<b>2.7E-09</b>	<b>2.0E-07</b>	<b>2.9E-15</b>
Classe 7 : les plus de 18 ans	de sol	mg/kg/j	6.0E-11	3.0E-09	4.3E-16
	de végétaux	mg/kg/j	3.2E-09	2.5E-07	3.4E-15
	de produits animaux	mg/kg/j	-	-	-
	<b>Apport total</b>	<b>mg/kg/j</b>	<b>3.3E-09</b>	<b>2.5E-07</b>	<b>3.8E-15</b>
DJE pondérée sur 30 ans	de sol	mg/kg/j	1.1E-10	5.2E-09	7.7E-16
	de végétaux	mg/kg/j	7.7E-09	4.6E-07	4.9E-15
	de produits animaux	mg/kg/j	-	-	-
	<b>Apport total</b>	<b>mg/kg/j</b>	<b>2.0E-09</b>	<b>1.5E-07</b>	<b>2.5E-15</b>