

OCTOBRE 2015



OGI

Aménagement de l'Ile de Loisirs de la Corniche des Forts (93)

Références : Rapport ARIA/2015.055

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 - <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 : Aménagement de l'île de Loisirs de la Corniche des Forts (93)						
N° rapport ARIA	15.055						
N° Action ARIA	14.214						
Nombre de pages	46	Nombre de figures	16	Nombre de tableaux	15	Nombre d'annexes	1
Auteur(s)	ARIA Technologies, Catherine SABASTIA						
Sous-traitants	-						
Intérêt documentaire			Accessibilité	Confidentielle		Libre	
Oui		Non		ARIA Technologies		Restreinte	
Etat du document	Rédacteur Nom/Date			Relecteur Nom/Date			
Version V1	Catherine SABASTIA Le 02/10/2015			Claire DUPUIS Le 02/10/2015			
DIFFUSION	Date	02/10/2015	Nombre total d'exemplaires édités			2	
DESTINATAIRES	Nombre	DESTINATAIRES				Nombre	
ARIA Technologies Archives	1	OGI				1	

4.5.1 Dépôts au sol	37
5. CONCLUSION	39
ANNEXE 1 : DESCRIPTION DU LOGICIEL ARIA IMPACT	41

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent.....	11
Tableau 2 : facteurs d'émissions COPERT III dépendant de la vitesse pour les poids lourds >3,5 t	17
Tableau 3 : pourcentage de réduction des émissions pour les poids lourds >3,5 t	17
Tableau 4 : hypothèses retenues – émissions liées au transport de granulats	18
Tableau 5 : émissions liées au transport de sablon.....	18
Tableau 6 : facteurs d'émissions pour la catégorie « Non-road mobile machinery – Stage III ».....	20
Tableau 7 : caractéristiques des engins de terrassement	20
Tableau 8 : émissions liées au gaz d'échappement des engins de terrassement	21
Tableau 9 : rugosité de la surface en fonction du matériau	22
Tableau 10 : vitesse de friction seuil en fonction du type de matériau	23
Tableau 11 : pourcentage de la surface totale pour les différentes valeurs du rapport u_s/u_r	23
Tableau 12 : valeur du coefficient k en fonction de la granulométrie des particules	24
Tableau 13 : paramètres de calcul pour chacune des espèces étudiées	27
Tableau 14 : réglementation de la qualité de l'air	29
Tableau 15 : concentrations moyenne annuelle en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	30
Tableau 16 : maxima des dépôts totaux observés sur le domaine d'étude.....	37

FIGURES

Figure 1 : domaine d'étude – rectangle de 2,4 km x 2 km (source Imagery).....	7
Figure 2 : topographie du domaine d'étude (source CGIAR)	8
Figure 3 : rose des vents générale – Toutes classes de vitesse confondues – Station Paris-Le Bourget	10
Figure 4 : rose des vents générale par classes de vitesses – Station Paris-Le Bourget	10
Figure 5 : répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique.....	12
Figure 6 : roses des vents par classe de stabilité.....	12
Figure 7 : variation de la température sur l'année (période du 01/01/2012 au 31/12/2014) – Station Paris-Le Bourget	13
Figure 8 : localisation des sources.....	14
Figure 9 : méthodologie mise en œuvre	25
Figure 10 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour les PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31
Figure 11 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour les oxydes d'azote ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	32
Figure 12 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour le dioxyde de soufre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33
Figure 13 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour le monoxyde de carbone ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ..	34
Figure 14 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour les composés organiques volatils ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	35
Figure 15 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour le benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	36
Figure 16 : carte de dépôts totaux (secs + humides) pour les poussières PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)	38

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet d'aménagement de l'Île de Loisirs de la Corniche des Forts (93), OGI sollicite ARIA Technologies pour la détermination des rejets dans l'air du projet. Le projet se décompose en deux tranches : une tranche ferme et une tranche conditionnelle. La tranche ferme se déroule en première phase.

L'objectif de cette étude est de modéliser la dispersion atmosphérique des rejets du site, **de la première phase de la tranche ferme**, en fonction des données du site (caractéristiques des émissions, conditions climatiques locales, topographie).

La première phase de la tranche ferme correspond à la constitution du stock de sablon en prévision du comblement des carrières présentes sur le site.

Les substances étudiées sont liées à l'activité des engins présents sur le site et aux envolées de poussières provenant du stock de sablon. Il s'agit des espèces suivantes :

- les poussières (PM10) ;
- les oxydes d'azote (NOx) ;
- le dioxyde de soufre (SO₂) ;
- le monoxyde de carbone (CO) ;
- les composés organiques (COV) dont le benzène (C₆H₆).

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.

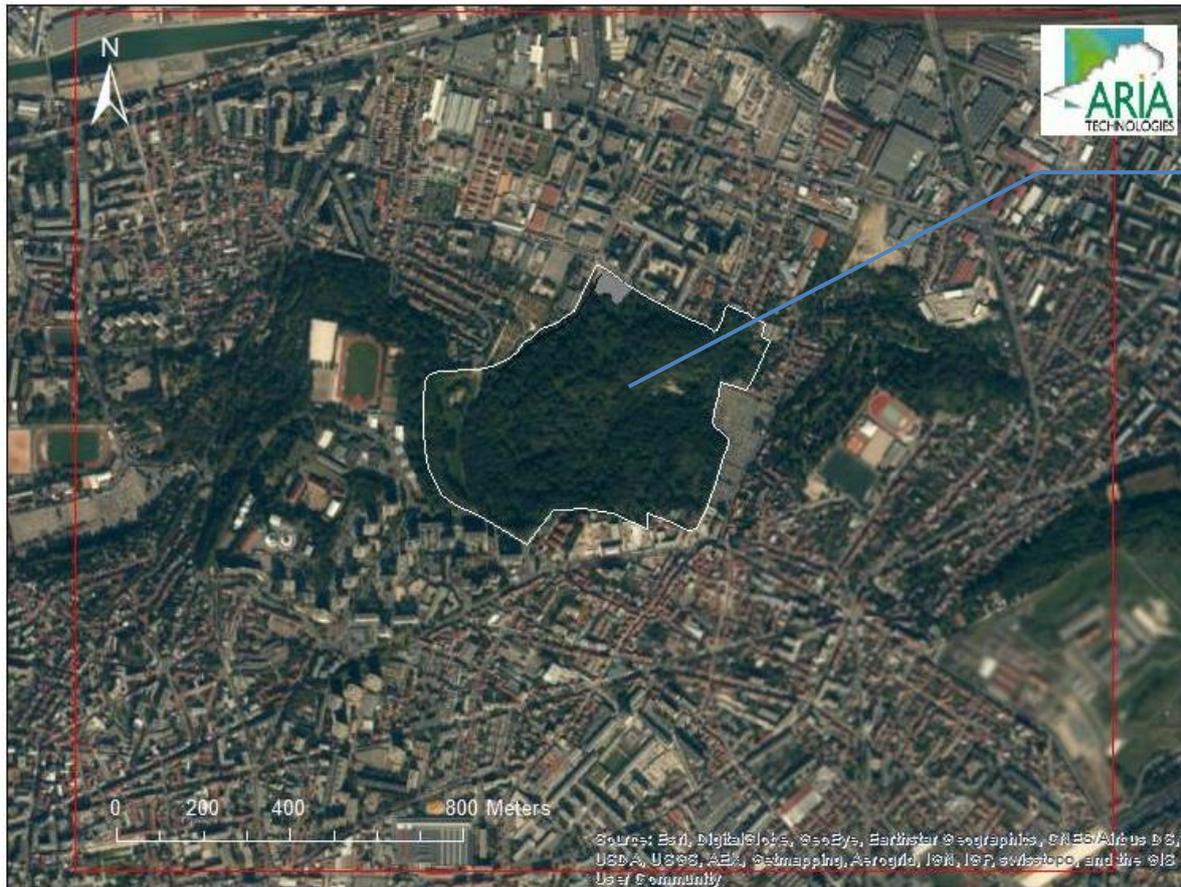
La responsabilité d'ARIA Technologies ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été fournies sont incomplètes ou erronées.

2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

2.1 DOMAINE D'ÉTUDE

Le projet d'aménagement de l'Île de Loisirs de la Corniche des Forts concerne les communes de Romainville, Pantin, Les Lilas et Noisy-le-Sec (93). Le domaine d'étude est présenté sur la Figure 1. Il s'agit d'un rectangle de 2,4 km par 2 km, centré sur le projet.

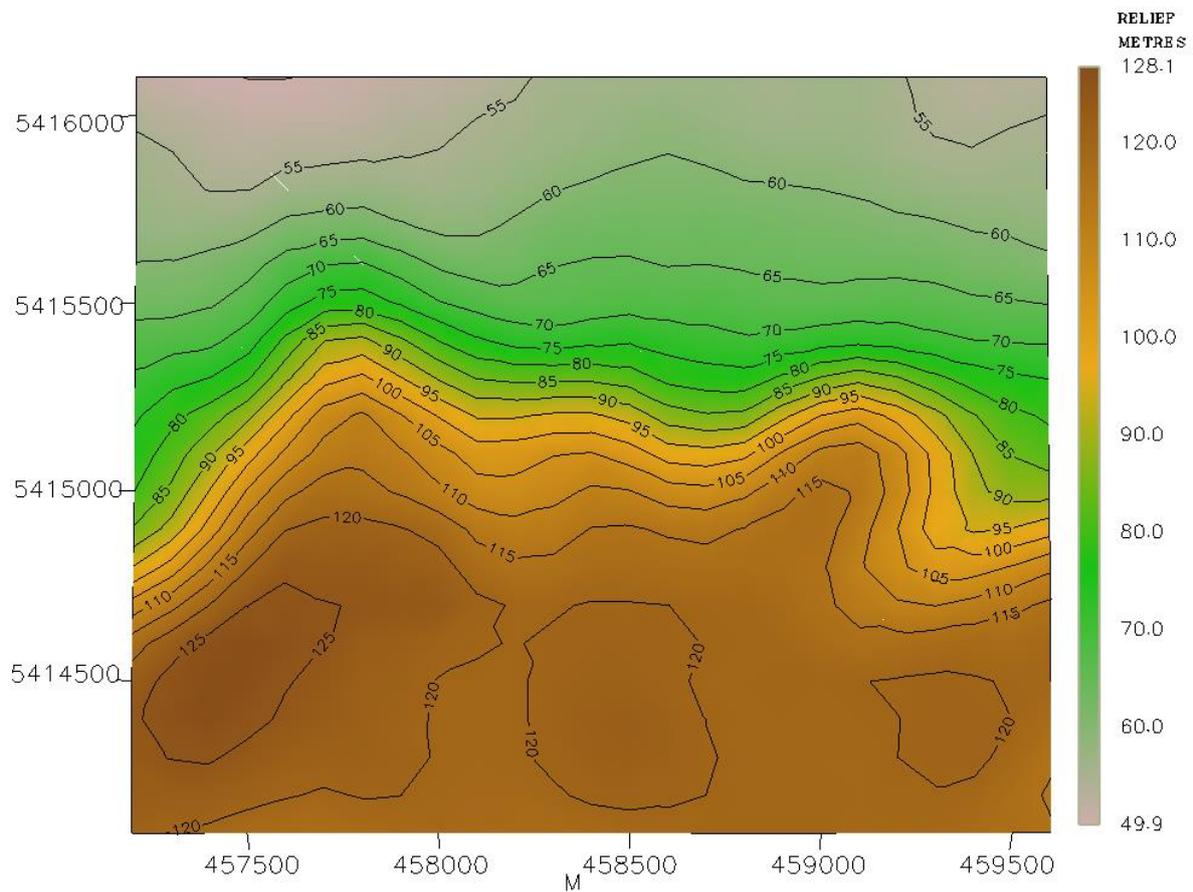
Figure 1 : domaine d'étude – rectangle de 2,4 km x 2 km (source Imagery)



2.2 TOPOGRAPHIE

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 100 mètres (données CGIAR). La Figure 2 présente une vue 2D de la topographie du site. L'écart entre deux isolignes est de 5 mètres. La Corniche des Forts se trouve dans une zone où le relief est peu marqué. Le relief du domaine d'étude est compris entre 50 m et 128 mètres NGF.

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



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** : 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 heures ou toutes les 3 heures pendant plusieurs années.
- 3. la pertinence des données météorologiques.**

Selon les critères ci-dessus, les données météorologiques retenues pour la simulation de dispersion proviennent de la station Météo-France de **Paris-Le Bourget** pour les mesures de vent (vitesse et direction), de température, de pluviométrie ainsi que pour les observations de nébulosité.

Les données météorologiques utilisées sont des mesures horaires (1 mesure toutes les heures) du vent (force et direction), de la température, de la pluviométrie et des observations de nébulosité sur une année complète : du 01/01/2012 au 31/12/2014 (soit plus de 26 000 cas météorologiques).

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	Rose des vents
$V < 0,9 \text{ m/s}$	$< 0,9 \text{ m/s}$
$0,9 \text{ m/s} \leq V < 1,5 \text{ m/s}$	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** (convention Météo-France).

La Figure 3 présente la rose des vents générale, avec toutes les classes de vitesse confondues, pour la station de Paris-Le Bourget sur la période 01/01/2012 au 31/12/2014, tandis que la Figure 4 présente la rose des vents générale par classes de vitesse.

Figure 3 : rose des vents générale – Toutes classes de vitesse confondues – Station Paris-Le Bourget

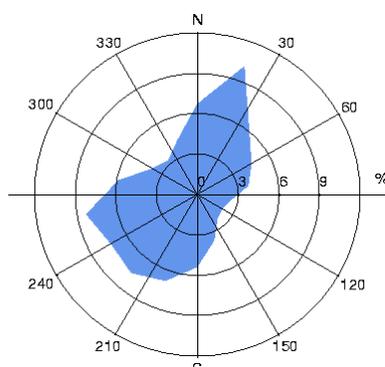


Figure 4 : rose des vents générale par classes de vitesses – Station Paris-Le Bourget

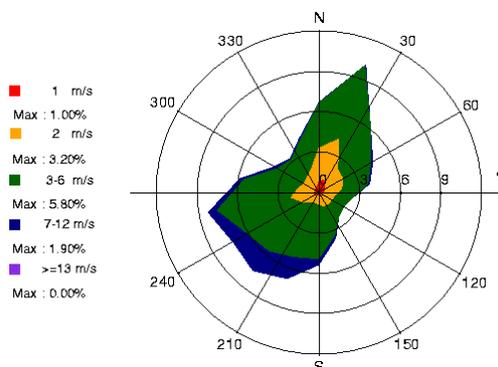


Tableau 1 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent

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 (%)	5,7	7,3	22,7	56,7	7,4	0,1

Les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

- 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 roses des vents montrent deux directions privilégiées :
 - vents venant du secteur **sud-ouest** (42,3 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 180° et 280°¹) ;
 - vents venant du secteur **nord-nord-est** (36,6 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 340° et 80°) ;
- sur l'ensemble des directions, les vents ont une vitesse moyenne de 3,3 m/s (11,9 km/h) ;
- les vents faibles (de vitesse inférieure ou égale à 2 m/s) sont fréquents puisqu'ils représentent 35,7 % des observations dont 5,7 % de vents calmes (vents inférieurs à 1 m/s) qui sont les plus pénalisants pour la dispersion des polluants ;
- les vents forts (de vitesse supérieure à 7 m/s) représentent seulement 7,5 % des observations et viennent majoritairement du sud-ouest.

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.

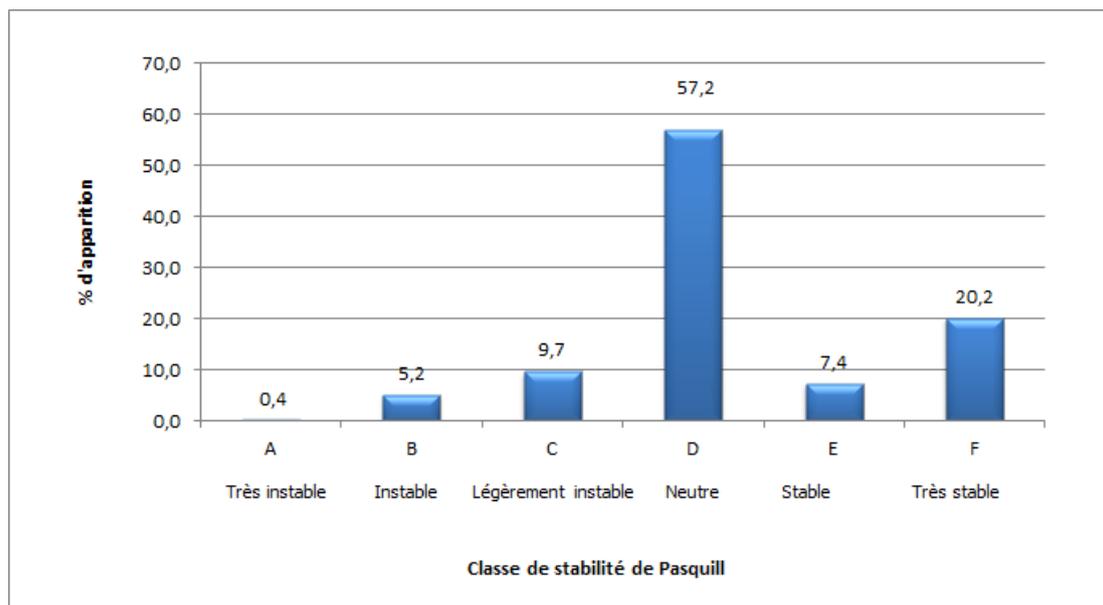
Elle est déterminée à partir des données de nébulosité et de vent qui conduit à distinguer six catégories de stabilité de l'atmosphère :

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

Plus l'atmosphère est stable (catégories E et F), plus les conditions de dispersion sont défavorables. Ces situations freinent le déplacement des masses d'air et se retrouvent principalement par vents faibles et la nuit.

Le diagramme de la Figure 5 présente la répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique.

¹ 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 5 : répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique

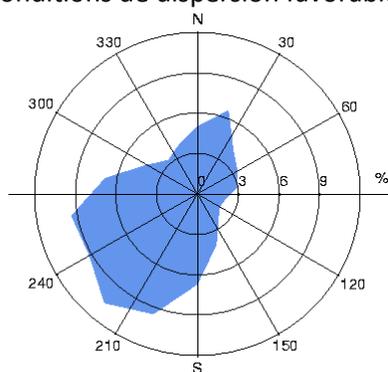
Les conditions de dispersion sont nettement favorables puisque 72,5 % des observations présentent une atmosphère instable ou neutre. De plus, le pourcentage de vents calmes est relativement faible (5,7 %).

Les vents ont une vitesse moyenne d'environ 1,8 m/s en situation très stable, tandis qu'en atmosphère neutre, la vitesse moyenne est de 3,85 m/s.

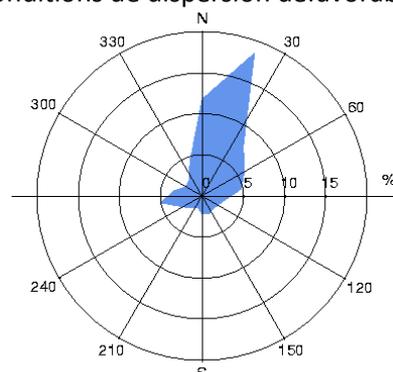
Le vent vient majoritairement du sud-ouest en situation d'atmosphère neutre tandis qu'ils viennent quasi exclusivement du nord-nord-est en situation d'atmosphère très stable (cf. Figure 6).

Figure 6 : roses des vents par classe de stabilité

Atmosphère neutre (classe D)
(conditions de dispersion favorables)



Atmosphère très stable (classe F)
(conditions de dispersion défavorables)



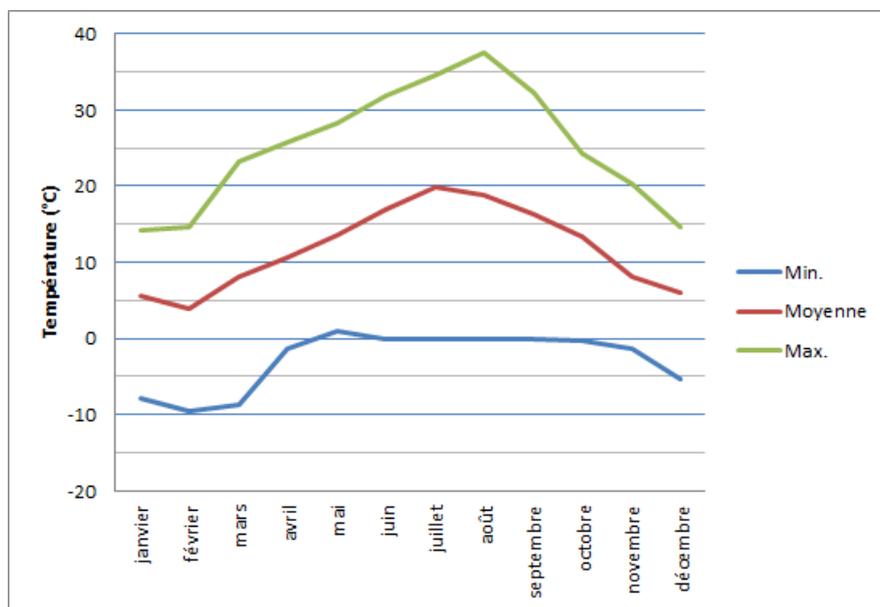
2.3.2.4 Température

La température de l'air, autre paramètre intervenant dans le processus de dispersion des polluants, est en moyenne de 11,8°C sur les trois années considérées.

Ce paramètre intervient notamment dans le calcul des surhauteurs des panaches en sortie de cheminée : plus la différence de température entre le rejet et l'air ambiant est importante, plus la surhauteur est élevée, plus l'impact au niveau du sol diminue.

La Figure 7 présente les variations de la température minimale, moyenne et maximale sur la période étudiée.

Figure 7 : variation de la température sur l'année (période du 01/01/2012 au 31/12/2014) – Station Paris-Le Bourget



3.1 ALIMENTATION DU STOCK

3.1.1 Roulage des camions sur le sol

3.1.1.1 Méthodologie d'estimation des émissions issues des voies non goudronnées (non imperméabilisées)

La circulation de véhicules sur des voies non goudronnées est source d'émission de poussières qui sont soulevées à la fois directement par les roues, et par le courant d'air provoqué par le déplacement du véhicule.

Sur le site, les voies non goudronnées se limitent aux voies de circulation autour des stocks.

Le calcul des émissions de poussières liées au roulage des véhicules sur les voies non imperméabilisées se base sur la méthodologie proposée par l'US-EPA². Elle propose un modèle de régression empirique (établi à partir de l'analyse statistique de résultats de mesures disponibles) donnant une masse de poussière émise en fonction de la distance parcourue sur les routes et le taux d'empoussièrément.

Les émissions de poussières liées au trafic de véhicules, sur une voirie non goudronnées, peuvent être estimées par l'équation empirique suivante :

$$E = k (c/12)^a (m/3)^b$$

avec :

- E : facteur d'émission pour la taille de poussières considérées en g/km
- k : coefficient aérodynamique fonction de la taille des poussières considérées en g/km (1381,31 pour les PM, 422,85 pour les PM₁₀ et 42,285 pour les PM_{2,5})
- c : charge de la surface en PM₇₅ (%)
- m : masse moyenne des véhicules (t)
- a : constante égale à 0,9 pour PM_{2,5} et PM₁₀ et 0,7 pour PM₃₀
- b : constante égale à 0,45

Un facteur d'abattement peut être appliqué à ce facteur d'émission pour tenir compte de l'arrosage des voies. Il sera explicité au cas par cas.

La confiance dans cette estimation est notée C (D pour les PM_{2,5}) à condition d'être dans les conditions suivantes pour un site industriel :

- teneur de la surface en PM₇₅ : 1,8 – 25,2 % ;
- masse moyenne des véhicules : 2 – 290 t ;
- vitesse moyenne des véhicules : 8 – 69 km/h ;
- nombre moyen de roues : 4 – 17 ;
- humidité en surface : 0,03 – 13 %.

² US-EPA, United States - Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 13: Miscellaneous Sources; 13.2.2: Unpaved Roads. Final report, November 2006.
<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>

3.1.1.2 Quantification des émissions

La quantité de sablon livré sur la zone de stockage est de 32 000 m³. En considérant que les matériaux seront livrés par des camions dont la charge utile est de 40 tonnes, sur la période de constitution du stock, circulera en moyenne 1 440 camions.

En prenant l'hypothèse que les camions circulent sur le site entre la base de vie et la zone de stockage de sablon, la distance maximale parcourue aller/retour est de 700 m.

En se basant sur ces hypothèses, sur la période du 7 juillet au 31 août 2015, **les émissions liées au roulage des camions transportant le sablon nécessaire à la constitution du stock sont de 0,75 tonnes.**

3.1.2 **Gaz d'échappement**

3.1.2.1 Méthodologie

Les émissions liées au trafic routier de transport de sablon sont calculées à partir de facteurs d'émissions donnant les quantités de polluants en g/km rejetées par un véhicule. Les facteurs d'émissions que nous utilisons pour l'étude sont ceux recommandés par l'Union Européenne (programme COPERT 3). Ce modèle résulte d'un consensus européen entre les principaux centres de recherche sur les transports. En France, son utilisation est par ailleurs préconisée par le CERTU pour la réalisation des études d'impact du trafic routier.

Les facteurs d'émission proviennent d'expérimentations sur banc d'essais ou en conditions réelles. Ils dépendent :

- de la nature des polluants ;
- du type de véhicule (essence/diesel, VL/PL,...) ;
- du "cycle" (trajet urbain, autoroute, moteur froid/chaud) ;
- de la vitesse du véhicule ;
- de la température ambiante (pour les émissions à froid).

Les facteurs d'émission sont fonction de la vitesse des véhicules et sont donnés pour les poids lourds³ dans le Tableau 2.

En ce qui concerne le SO₂, les émissions sont calculées en considérant 0,0003 kg SO₂/kg carburant. En ce qui concerne le benzène, les émissions sont calculées en supposant que les émissions de benzène représentent 0,07 % des émissions de COV.

³ COPERT III, Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1). Leonidas Ntziachristos and Sissis Samaras ETC/AEM, With contributions from: S. Eggleston, N. Gorißen, D. Hassel, A.-J. Hickman, R. Joumard, R. Rijkeboer, L. White. Technical report No 49, November 2000, European Environment Agency

Tableau 2 : facteurs d'émissions COPERT III dépendant de la vitesse pour les poids lourds >3,5 t

Pollutant	Weight Class	Speed Range [km/h]	Emission Factor [g/km]	R ²
CO	All Weight Categories	0-100	$37,280V^{0,6945}$	0,880
	Weight<7,5t	0 - 46,7 46,7 - 100	$50,305V^{0,7708}$ $0,0014V^2 - 0,1737V + 7,5506$	0,902 0,260
NO _x	7,5<Weight<16t	0 - 58,8 58,8 - 100	$92,584V^{0,7393}$ $0,0006V^2 - 0,0941V + 7,7785$	0,940 0,440
		16<Weight<32t	0 - 100	$108,36V^{0,6061}$
	Weight>32t	0 - 100	$132,88V^{0,5581}$	0,894
	All Weight Categories	0-100	$40,120V^{0,8774}$	0,976
VOC	Weight<7,5t	0 - 100	$4,5563V^{0,7070}$	0,944
		7,5<Weight<16t	0 - 100	$9,6037V^{0,7259}$
	16<Weight<32t	0 - 100	$10,890V^{0,7105}$	0,946
	Weight>32t	0 - 100	$11,028V^{0,6960}$	0,961
Fuel Consumption	Weight<7,5t	0 - 47 47 - 100	$1425,2V^{0,7593}$ $0,0082V^2 - 0,0430V + 60,12$	0,990 0,798
		7,5<Weight<16t	0 - 59 59 - 100	$1068,4V^{0,4905}$ $0,0126V^2 - 0,6589V + 141,18$
	16<Weight<32t	0 - 59 59 - 100	$1595,1V^{0,4744}$ $0,0382V^2 - 5,1630V + 399,3$	0,628 0,037
		Weight>32t	0 - 58 58 - 100	$1855,7V^{0,4367}$ $0,0765V^2 - 11,414V + 720,9$

Tableau 3 : pourcentage de réduction des émissions pour les poids lourds >3,5 t

Veh. Class	Weight Class	CO			NO _x			VOC			PM		
		U	R	H	U	R	H	U	R	H	U	R	H
Euro I	Weight<7,5t	50,0	40,0	45,0	30,0	30,0	10,0	25,0	25,0	25,0	35,0	35,0	35,0
	7,5<Weight<16t	50,0	40,0	45,0	30,0	30,0	10,0	25,0	25,0	25,0	35,0	35,0	35,0
	16<Weight<32t	45,0	40,0	35,0	45,0	40,0	45,0	50,0	35,0	25,0	35,0	35,0	35,0
	Weight>32t	45,0	40,0	35,0	45,0	40,0	45,0	50,0	35,0	25,0	35,0	35,0	35,0
Euro II	Weight<7,5t	60,0	45,0	50,0	50,0	45,0	35,0	30,0	30,0	30,0	60,0	60,0	60,0
	7,5<Weight<16t	60,0	45,0	50,0	50,0	45,0	35,0	30,0	30,0	30,0	60,0	60,0	60,0
	16<Weight<32t	55,0	50,0	35,0	60,0	55,0	55,0	55,0	40,0	35,0	75,0	75,0	75,0
	Weight>32t	55,0	50,0	35,0	60,0	55,0	55,0	55,0	40,0	35,0	75,0	75,0	75,0
Euro III	Weight<7,5t	72,0	61,5	65,0	65,0	61,5	54,5	51,0	51,0	51,0	72,0	72,0	72,0
	7,5<Weight<16t	72,0	61,5	65,0	65,0	61,5	54,5	51,0	51,0	51,0	72,0	72,0	72,0
	16<Weight<32t	68,5	65,0	54,5	72,0	68,5	68,5	68,5	58,0	54,5	82,5	82,5	82,5
	Weight>32t	68,5	65,0	54,5	72,0	68,5	68,5	68,5	58,0	54,5	82,5	82,5	82,5
Euro IV	Weight<7,5t	79,6	71,9	74,5	75,5	73,1	68,2	65,7	65,7	65,7	94,7	94,7	94,7
	7,5<Weight<16t	79,6	71,9	74,5	75,5	73,1	68,2	65,7	65,7	65,7	94,7	94,7	94,7
	16<Weight<32t	77,0	74,5	66,8	80,4	78,0	78,0	78,0	70,6	68,2	96,7	96,7	96,7
	Weight>32t	77,0	74,5	66,8	80,4	78,0	78,0	78,0	70,6	68,2	96,7	96,7	96,7
Euro V	Weight<7,5t	79,6	71,9	74,5	86,0	84,6	81,8	65,7	65,7	65,7	94,7	94,7	94,7
	7,5<Weight<16t	79,6	71,9	74,5	86,0	84,6	81,8	65,7	65,7	65,7	94,7	94,7	94,7
	16<Weight<32t	77,0	74,5	66,8	88,8	87,4	87,4	78,0	70,6	68,2	96,7	96,7	96,7
	Weight>32t	77,0	74,5	66,8	88,8	87,4	87,4	78,0	70,6	68,2	96,7	96,7	96,7

U : urbain ; R : rural ; H : autoroute

3.1.2.2 Quantification des émissions

Les hypothèses suivantes ont été prises en compte :

- les camions transportant les matériaux sont supérieurs à **32 tonnes** ;
- ils suivent la **norme EURO V** (applicable à partir de 2008) ;
- ils roulent à la vitesse moyenne de **20 km/h**.

Le Tableau 4 reprend les différentes hypothèses retenues pour le calcul des émissions liées au transport de granulats.

Tableau 4 : hypothèses retenues – émissions liées au transport de granulats

	Unité	Hypothèse retenue
Vitesse moyenne des poids lourds	km/h	20
Catégorie de poids lourds	-	> 32 tonnes, EURO V
Nombre de poids lourds sur la période	PL	1 440
Distance parcourue (A/R)	km	0,7
Type de réseau routier	-	urbain

En retenant ces hypothèses, les émissions liées au transport de sable lors de la constitution du stock, sur la période du 7 juillet 2015 au 31 août 2015, sont présentées dans le Tableau 5.

Tableau 5 : émissions liées au transport de sable

Composé	Facteur d'émission (g/km)	Emission annuelle (tonne/période)
Consommation de carburant	6 865	6,9
NOx	628	0,6
SO ₂	2,1	0,002
PM ₁₀	85,8	0,09
CO	3,6	0,004
COV	2,3	0,002
Benzène	1,6E-03	1,6E-06

3.1.3 Déchargement des camions

3.1.3.1 Méthodologie

Le calcul des émissions de poussières pour le déchargement se base sur la méthodologie de l'US-EPA⁴ qui propose l'expression empirique suivante pour le déchargement par l'arrière (cas des camions) :

$$E = 4 \text{ g/tonne déchargée}$$

Le degré de confiance de ce facteur d'émission est noté E. Ce facteur d'émissions provient d'études réalisées sur des sites charbonniers de l'ouest des Etats-Unis.

3.1.3.2 Quantification des émissions

La zone de stockage comporte au final 32 000 m³ de sablon. Sachant que 1 m³ de sablon correspond à environ 1,8 tonnes de sablon, sur la période du 7 juillet au 31 août 2015, la quantité de poussières émises lors des phases de déchargement des camions est de 0,23 tonnes.

3.2 ESTIMATION DES EMISSIONS LIEES AUX ENGINES DE TERRASSEMENT

3.2.1 Méthodologie

Les émissions liées au gaz d'échappement des engins de terrassement sont calculées à partir des données de l'EEA (European Environment Agency)⁵ proposant des facteurs d'émissions en « g/kW-h ». L'utilisation de tels facteurs d'émission nécessite de connaître la puissance (exprimée en kW) de chaque engin utilisé sur le site. Les facteurs d'émissions pour le groupe 8 « Other mobile sources and machinery » sont présentés dans le Tableau 6.

⁴ US-EPA, United States - Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 13: Miscellaneous Sources; 11.9.1 Western surface coal mining s. Final report. October 1998. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>
EPA, octobre 1998

⁵ EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006. European Environment Agency. Technical report No 11/2006. B810 : Other mobile sources and machinery. <http://reports.eea.europa.eu/EMEP-CORINAIR4/en/page002.html>

Tableau 6 : facteurs d'émissions pour la catégorie « Non-road mobile machinery – Stage III »

POLLUTANT [g/kWh]	Power Range in kW							
	0-20 0-18	20-37 18-37	37-75	75-130	130-300	300-560	560-1000	>1000
Implementation date (see footnote)	N/A	1/1/2006	1/1/2007	1/1/2006	1/7/2005	1/7/2005	N/A	N/A
NO _x *	14.4	6.40	4.00	3.50	3.50	3.50	14.4	14.4
N ₂ O	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
CH ₄	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
CO	8.38	5.50	5.00	5.00	3.50	3.50	3.00	3.00
NMVOG*	3.82	1.10	0.70	0.50	0.50	0.50	1.30	1.30
PM	2.22	0.60	0.40	0.30	0.20	0.20	1.10	1.10
PM _{2.5}	2.09	0.56	0.38	0.28	0.19	0.19	1.03	1.03
NH ₃	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
FC	271	269	265	260	254	254	254	254

3.2.2 Quantification des émissions

Les engins en activité sur le site lors de la constitution du stock de sablon sont les suivants :

- 1 chargeur type 963 ;
- 1 bull type D5 ou D6 pour stockage ;
- 1 bull D6 ;
- 1 dumper type A25 ;
- 1 pelle type 934/914 avec godet de curage ;
- 4 sondeuses à injection de 150 CH chacune.

La période de mise en œuvre des engins de terrassement est comprise entre le 7 juillet et le 31 août 2015. Sur cette période, les hypothèses suivantes ont été prises : les engins fonctionnent au maximum 8 heures par jour sur la tranche horaire 7h-17h et le site est ouvert du lundi au vendredi. Les caractéristiques des engins de terrassement proviennent des sites des constructeurs.

Tableau 7 : caractéristiques des engins de terrassement

	nombre d'engins sur le site	puissance moyenne (kW)
Chargeur type 963 (CATERPILLAR 963C)	1	141
Bull type D5 ou D6 pour stockage (D5K2)	1	77,6
Bull D6 (CATERPILLAR D6K2)	1	97
Dumper type A25 (Volvo)	1	227
Pelle type 934/914 avec godet de curage (LIEBHERR A914)	1	150
Sondeuse à injection 150 CH	4	110

Tableau 8 : émissions liées au gaz d'échappement des engins de terrassement

	Emissions (kg/h)			
	NOx	CO	COV	PM
Chargeur type 963	0,49	0,49	0,07	0,03
Bull type D5 ou D6 pour stockage	0,27	0,39	0,04	0,02
Bull D6	0,34	0,49	0,05	0,03
Dumper type A25	0,79	0,79	0,11	0,05
Pelle type 934/914 avec godet de curage	0,53	0,53	0,08	0,03
Sondeuse à injection 150 CH	1,55	2,21	0,22	0,13
Total site	1,10	1,37	0,16	0,08

La proportion de benzène dans les COV étant de 0,07 %, les émissions de benzène liées au gaz d'échappement des engins de terrassement au niveau de la zone de stockage du sablon sont de $1,1 \cdot 10^{-4}$ kg/h.

3.3 ESTIMATION DES EMISSIONS LIEES AUX ENVOLES DE POUSSIÈRES

Ces émissions correspondent aux envols de poussières liés à l'érosion de la zone de stockage de sablon par le vent.

3.3.1 Méthodologie

Le calcul des émissions de poussières liées aux envols de poussières se base sur la méthodologie de l'US-EPA⁶. Elle propose un modèle de régression empirique donnant une masse de poussières émise (ou non) à chaque échéance météorologique, composé en trois étapes successives :

- calcul de la vitesse de friction équivalente ;
- calcul du potentiel d'érosion ;
- calcul des facteurs d'émission correspondant à la vitesse étudiée.

Cette méthode suppose que la surface des poussières est assimilable à un tas conique.

3.3.1.1 Calcul du coefficient de rafale u_{10}^{\pm}

Il est d'abord nécessaire de déterminer la vitesse du vent maximale atteinte en rafale (coefficient de rafale). D'après la note de calcul de l'US-EPA, la vitesse du vent correspond à une rafale de 1 à 4 minutes. De plus, selon un article de Météo-France⁷, le facteur de rafale varie entre 1,27 à 1,74 selon les stations et les saisons, avec une valeur moyenne de 1,5.

Pour déterminer les vitesses en rafale sur une durée d'une minute (hypothèse majorante), il suffit d'appliquer un facteur multiplicateur de 1,5 sur les vitesses de vent moyennes données par Météo-France.

$$u_{10}^+ = 1.5 \times u_{10}$$

avec

u_{10}^+ : coefficient de rafale à 10 m (m/s)

u_{10} : vitesse du vent à 10 m (m/s)

⁶ US-EPA, United States - Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 13: Miscellaneous Sources; 13.2.5: Industrial Wind erosion. Final report. Novembre 2006.

<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>

⁷ "Les caprices du vent. Première partie : rafale et vent moyen". Météo-France. Revue METMAR 199 juin 2003.

3.3.1.2 Calcul de la vitesse de friction équivalente

La vitesse de friction équivalente u^* calculée à 25 cm au-dessus de la surface considérée est définie de la manière suivante :

$$u^* = \frac{K_a u_s^+}{\ln\left(\frac{25}{z_0}\right)}$$

avec

u_s^+ : vitesse du vent à 25 cm au-dessus du stockage de charbon

z_0 : rugosité exprimée en m (cf. Tableau 9)

K_a : constante de Von Karman = 0,4

Les rugosités dépendent du matériau et elles sont présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9 : rugosité de la surface en fonction du matériau

Matériau	Rugosité (cm)
Charbon entourant le terril de charbon	0,01
Fine poussière de charbon sur dalle de béton	0,2
Front d'exploitation d'un terril de charbon	0,06
Scories (matériaux de construction de routes)	0,3
Tas de charbon	0,3

Dans notre cas, nous avons retenu comme matériau les « fines poussières de charbon sur dalle de béton » avec une rugosité de 0,2 cm.

La vitesse du vent en surface est :

$$u_s^+ = \left(\frac{u_s}{u_r} \right) \times u_{10}^+$$

avec

u_{10}^+ : coefficient de rafale à 10 m

D'après la note de calcul de l'EPA, trois valeurs caractéristiques du rapport $\frac{u_s}{u_r}$ sont données. Il s'agit des valeurs 0,2 , 0,6 et 0,9.

3.3.1.3 Calcul du potentiel d'érosion

Le potentiel d'érosion (exprimé en g/m^2) est calculé à partir de la formule suivante :

$$\begin{cases} P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*) & \text{si } u^* \geq u_t^* \\ P = 0 & \text{si } u^* < u_t^* \end{cases}$$

avec

u^* : vitesse de friction (m/s)

u_t^* : vitesse de friction seuil (m/s)

La méthode de l'US-EPA pour le calcul des émissions de poussières fournit une liste de vitesse de friction seuil (u_t^*) en fonction du type de matériau. La liste est présentée dans le Tableau 10.

Tableau 10 : vitesse de friction seuil en fonction du type de matériau

Matériau	Vitesse de friction seuil u_t^* (m/s)
Charbon entourant le terril de charbon	0,55
Fine poussière de charbon sur dalle de béton	0,54
Front d'exploitation d'un terril de charbon	0,62
Scories (matériaux de construction de routes)	1,33
Tas de charbon	1,12

Dans notre cas, nous avons retenu comme matériau les « fines poussières de charbon sur dalle de béton » avec une vitesse de friction de seuil de 0,54 m/s.

3.3.1.4 Calcul de la quantité de poussières susceptible de s'envoler

La quantité totale de matière susceptible de s'envoler pour une vitesse de vent donnée est la somme des matières calculée pour les trois valeurs du rapport u_s/u_r : 0,2 , 0,6 et 0,9.

A chacune de ces trois valeurs est associé un pourcentage de la surface totale. Elles sont regroupées dans le Tableau 11.

Tableau 11 : pourcentage de la surface totale pour les différentes valeurs du rapport u_s/u_r

Valeurs u_s/u_r	Pourcentage de la surface totale
0,2	40 %
0,6	48 %
0,9	12 %

Les émissions de poussières sont ensuite calculées à partir des facteurs d'émission pour chaque valeur de u_s/u_r multipliées par la surface correspondante, sachant que le facteur d'émission est égal au potentiel d'érosion multiplié par un coefficient k qui est fonction de la granulométrie des particules.

Ainsi, pour une vitesse donnée, les émissions de poussières sont égales à :

$$E = \sum_{\text{sous-secteur}} kPS$$

avec :

- E : émissions de poussières (g)
- k : coefficient multiplicateur fonction de la granulométrie des particules
- P : potentiel d'érosion (g/m^3)
- S : surface du sous-secteur (m^2)

La méthodologie de l'US-EPA donne les valeurs de k en fonction de la granulométrie des particules qui sont rappelées dans le Tableau 12.

Tableau 12 : valeur du coefficient k en fonction de la granulométrie des particules

Granulométrie	> 30 μm	< 15 μm	< 10 μm	< 2,5 μm
Coefficient k	1	0,6	0,5	0,2

3.3.1.5 Emissions

La surface au sol de la zone de stockage du sablon est prise égale à 3 200 m². La hauteur finale du tas étant de 10 m.

Les émissions de poussières diffuses liées à l'envol du stock de sablon constitué est de 0,41 t/an.

4. DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR

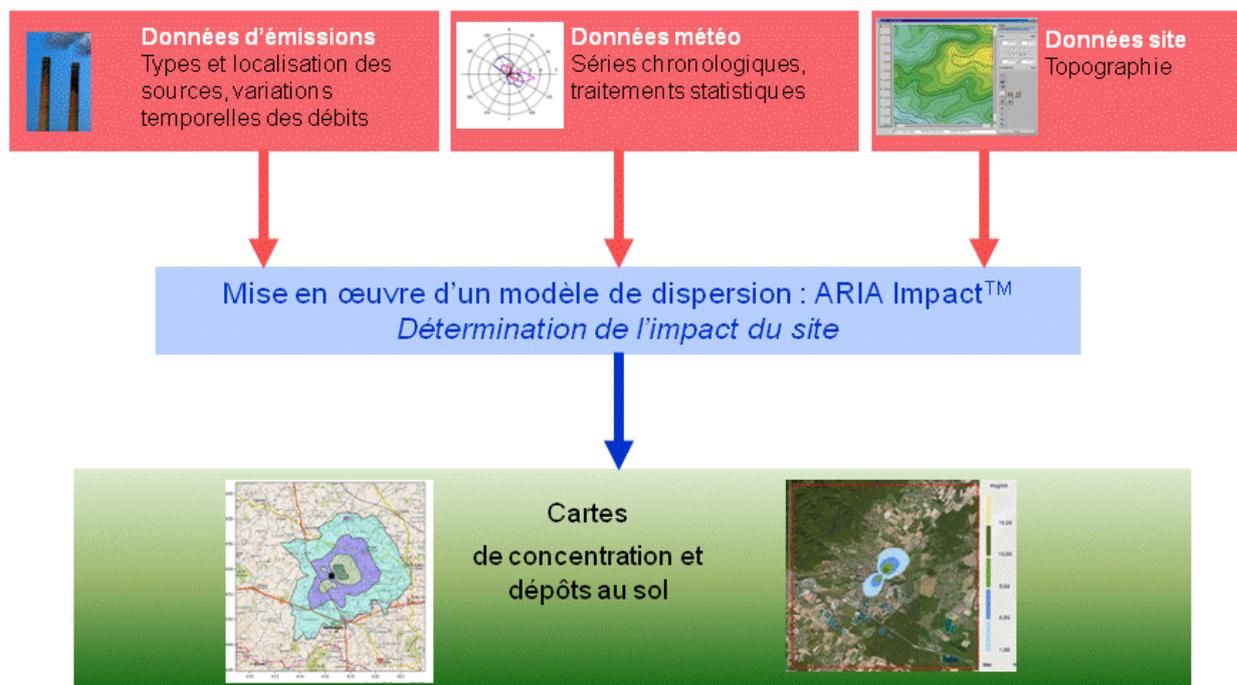
4.1 PRESENTATION DU LOGICIEL DE DISPERSION

Le modèle utilisé pour cette analyse statistique est le logiciel **ARIA Impact**, version 1.8. 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).

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 polluants secondaires tels que l'ozone. Sans être un modèle tridimensionnel, ARIA Impact peut prendre en compte la topographie de manière simplifiée.

La Figure 9 présente la méthodologie mise en œuvre pour déterminer les concentrations et les dépôts au sol.

Figure 9 : méthodologie mise en œuvre



Une description technique du logiciel est présentée en Annexe 1.

4.2 PARAMETRAGES DU MODELE DE DISPERSION

Les hypothèses de calcul suivantes ont été prises en compte :

- une prise en compte simplifiée de la topographie ;
- une rugosité correspondant à une zone urbaine ;
- un modèle de dispersion basé sur les écarts-types de Briggs ;
- une prise en compte des vents calmes ;
- un calcul des dépôts au sol liés à la chute gravitaire des particules (dépôts secs) et au lessivage du panache par la pluie (dépôts humides) ;
- une maille de calcul de 100 mètres ;
- les émissions présentées dans la partie 3.

4.2.1 Prise en compte de la topographie

La topographie a été prise en compte dans les calculs de manière simplifiée. En effet, sans être un modèle tridimensionnel, ARIA Impact permet de prendre en compte l'influence du relief de façon simplifiée. En supposant que l'axe du panache se trouve à une hauteur h par rapport au sol, la prise en compte du relief est basée sur des modélisations qui suivent les principes suivants :

- si l'axe du panache passe au-dessus d'un relief de hauteur $ht < h$:
 - en atmosphère neutre ou instable : la hauteur de l'axe du panache est $h + ht/2$
 - en atmosphère stable : la hauteur de l'axe du panache ne varie pas
- si l'axe du panache passe au-dessous d'un relief de hauteur $ht > h$:
 - en atmosphère neutre ou instable : la hauteur de l'axe du panache est $ht + h/2$
 - en atmosphère stable : la hauteur de l'axe du panache est fixée à une valeur limite égale à dix mètres.

Il faut noter que cette formulation est pénalisante en cas de vent stable.

4.2.2 La formule des écarts-types (modèle de dispersion)

La dispersion du polluant autour de sa trajectoire nécessite la connaissance des écarts-types. Les écarts-types sont les paramètres qui pilotent la diffusion du panache.

Pour les sites urbanisés où le mélange vertical est très fort la formule de Briggs est retenue.

4.2.3 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). Les vents calmes (5,7 % des observations) ont bien été pris en compte dans les calculs.

4.2.4 Calcul des dépôts au sol

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

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

Le Tableau 13 résume les caractéristiques des espèces étudiées pour le calcul des dépôts.

Tableau 13 : paramètres de calcul pour chacune des espèces étudiées

	Phase du polluant	Diamètre de particule (μm)	Vitesse de dépôt (cm/s)	Masse volumique (kg/m^3)	Coefficient de lessivage (s^{-1})	Source bibliographique
PM	Particulaire	10	1,3	3 000	$4 \cdot 10^{-4}$	[1]
SO ₂	Gazeuse	-	0,6	1	$1 \cdot 10^{-5}$	[2]
NOx, CO, COV, Benzène	Gazeuse	-	-	1	$1 \cdot 10^{-5}$	[2]

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

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

4.3 GRANDEURS CALCULEES

Les grandeurs calculées dans cette étude sont les concentrations en moyenne annuelle et les dépôts totaux. Pour le calcul des moyennes annuelles, la réglementation française ne fixe aucune base de calcul.

Les résultats de l'étude sont donnés sous forme de **cartes** et de **tableaux**. Ces résultats ne concernent que la contribution des rejets étudiés (toutes sources confondues).

L'unité retenue pour exprimer les concentrations de polluant dans l'air, dans les tableaux et sur les cartes présentées dans ce rapport, est le $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($1 \mu\text{g}$ (microgramme) = 10^{-6} g). Pour les dépôts au niveau du sol, il s'agit du $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$.

4.4 REGLEMENTATION

Au niveau de la réglementation française, les critères nationaux de qualité de l'air sont définis dans le Code de l'environnement (articles R221-1 à R221-3). Ils résultent principalement :

- du décret, n°2002-213, du **15 février 2002** 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 ;
- du décret, n°2003-1085, du **12 novembre 2003** portant sur la transposition de la directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002 et modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 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 ;
- du décret, n°2007-1479, du **12 octobre 2007** relatif à la qualité de l'air et modifiant le code de l'environnement (partie réglementaire). Ce décret rend notamment obligatoire la mesure des métaux lourds et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), conformément à la Directive "métaux lourds/HAP "(2004/107/CE), et transpose les objectif de la qualité de la directive "ozone" (2002/3/CE) ;
- de la circulaire du **12 octobre 2007** relatif à l'information du public sur les particules en suspension dans l'air ambiant ;
- du décret, n°2008-1152, du **7 novembre 2008** relatif à la qualité de l'air. Ce décret mentionne les valeurs cibles relatives à l'ozone, aux métaux (As, Cd, Ni), et au benzo(a)pyrène ;
- du décret n°2010-1250 du **21 octobre 2010** qui transpose la directive 2008/50/CE du Parlement Européen et du Conseil du 21 mai 2008. Les critères nationaux de qualité de l'air résultent principalement.

Quelques définitions :

- **Objectif de qualité** : 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 cible** : 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 ;
- **Valeur limite** : 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.

Le Tableau 14 synthétise les principales valeurs mentionnées dans ces textes, pour les substances prises en compte dans cette étude.

Tableau 14 : réglementation de la qualité de l'air

	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuils d'alerte
NO₂	<p>En moyenne annuelle : 40 µg/m³</p> <p>En moyenne horaire : 200 µg/m³ <i>valeur à ne pas dépasser plus de 18 heures par an (Centile 99,8)</i></p>	<p>En moyenne annuelle : 40 µg/m³</p>	<p>En moyenne horaire : 200 µg/m³</p>	<p>En moyenne horaire : 400 µg/m³ dépassé sur 3 heures consécutives 200 µg/m³ si dépassement de ce seuil la veille, et risque de dépassement de ce seuil le lendemain.</p>
	<p>En moyenne annuelle (pour les écosystèmes) : 20 µg/m³</p> <p>En moyenne hivernale (pour les écosystèmes) : 20 µg/m³</p>			
SO₂	<p>En moyenne journalière : 125 µg/m³ <i>valeur à ne pas dépasser plus de 3 jours par an (Centile 99,2)</i></p> <p>En moyenne horaire : 350 µg/m³ <i>valeur à ne pas dépasser plus de 24 heures par an (Centile 99,7)</i></p>	<p>En moyenne annuelle : 50 µg/m³</p>	<p>En moyenne horaire : 300 µg/m³</p>	<p>En moyenne horaire sur 3 heures consécutives : 500 µg/m³</p>
PM10	<p>En moyenne annuelle : 40 µg/m³</p> <p>En moyenne journalière : 50 µg/m³ <i>valeur à ne pas dépasser plus de 35 jours par an (Centile 90,4)</i></p>	<p>En moyenne annuelle : 30 µg/m³</p>	<p>En moyenne sur 24 heures : 80 µg/m³</p>	<p>En moyenne sur 24 heures : 125 µg/m³</p>
Benzène	<p>En moyenne annuelle : 5 µg/m³</p>	<p>En moyenne annuelle : 2 µg/m³</p>		
CO	<p>En moyenne sur 8 heures : 10 000 µg/m³</p>			

4.5 RESULTATS DES SIMULATIONS

Le Tableau 15 présente les concentrations moyennes annuelles au point géographique le plus exposé du domaine d'étude.

Tableau 15 : concentrations moyenne annuelle en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Composés ou Famille de composés	Unités	Concentration max. sur le domaine d'étude	Valeur seuil
NOx	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,4	40
SO₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,002	50
CO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,9	-
COV	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,1	-
Benzène	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,00007	2
PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	2,1	30

Les concentrations en moyenne annuelle calculées par modélisation **sont inférieures aux valeurs réglementaires françaises en tout point du domaine d'étude**. Elles représentent au maximum au point géographique le plus exposé :

- 3,6 % de l'objectif de qualité en assimilant les oxydes d'azote au NO₂ ;
- moins de 1 % de l'objectif de qualité pour le SO₂ pour les écosystèmes ;
- moins de 1 % de l'objectif de qualité pour le benzène ;
- 7,1 % de l'objectif de qualité pour les poussières assimilés à des PM10.

La Figure 10 présente la carte de concentration moyenne annuelle pour les poussières (PM10). 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" correspondent à des concentrations en poussières comprises entre 0,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les Figure 11 à Figure 15 présentent respectivement les cartes de concentrations en moyenne annuelle pour le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les composés organiques volatils et le benzène.

La trace au sol des concentrations en moyenne annuelle reflète bien les caractéristiques de la rose des vents générale. Les concentrations les plus importantes sont observées sur le site à proximité immédiate de la zone de stockage des sables.

Figure 10 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour les PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

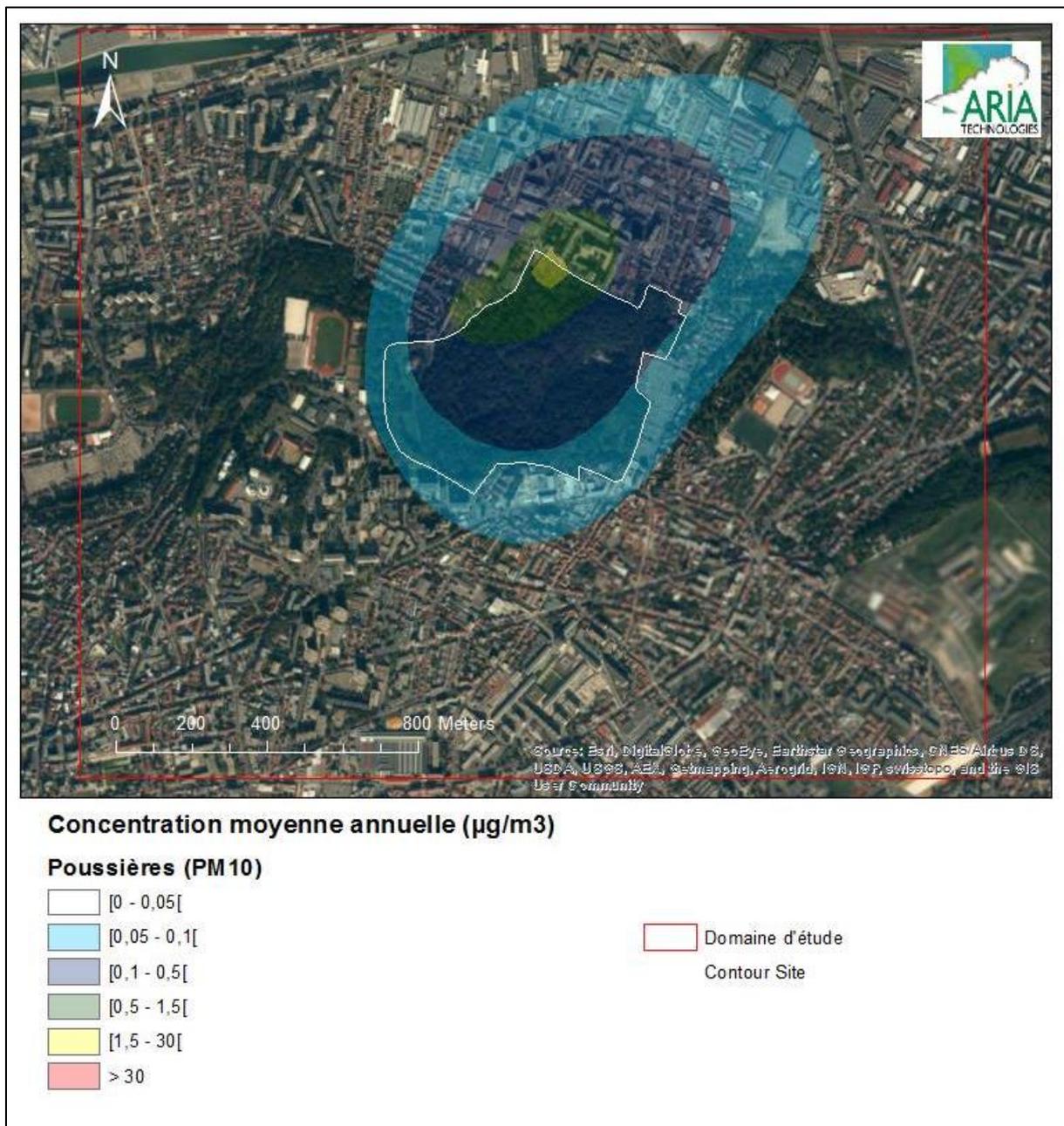


Figure 11 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour les oxydes d'azote ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

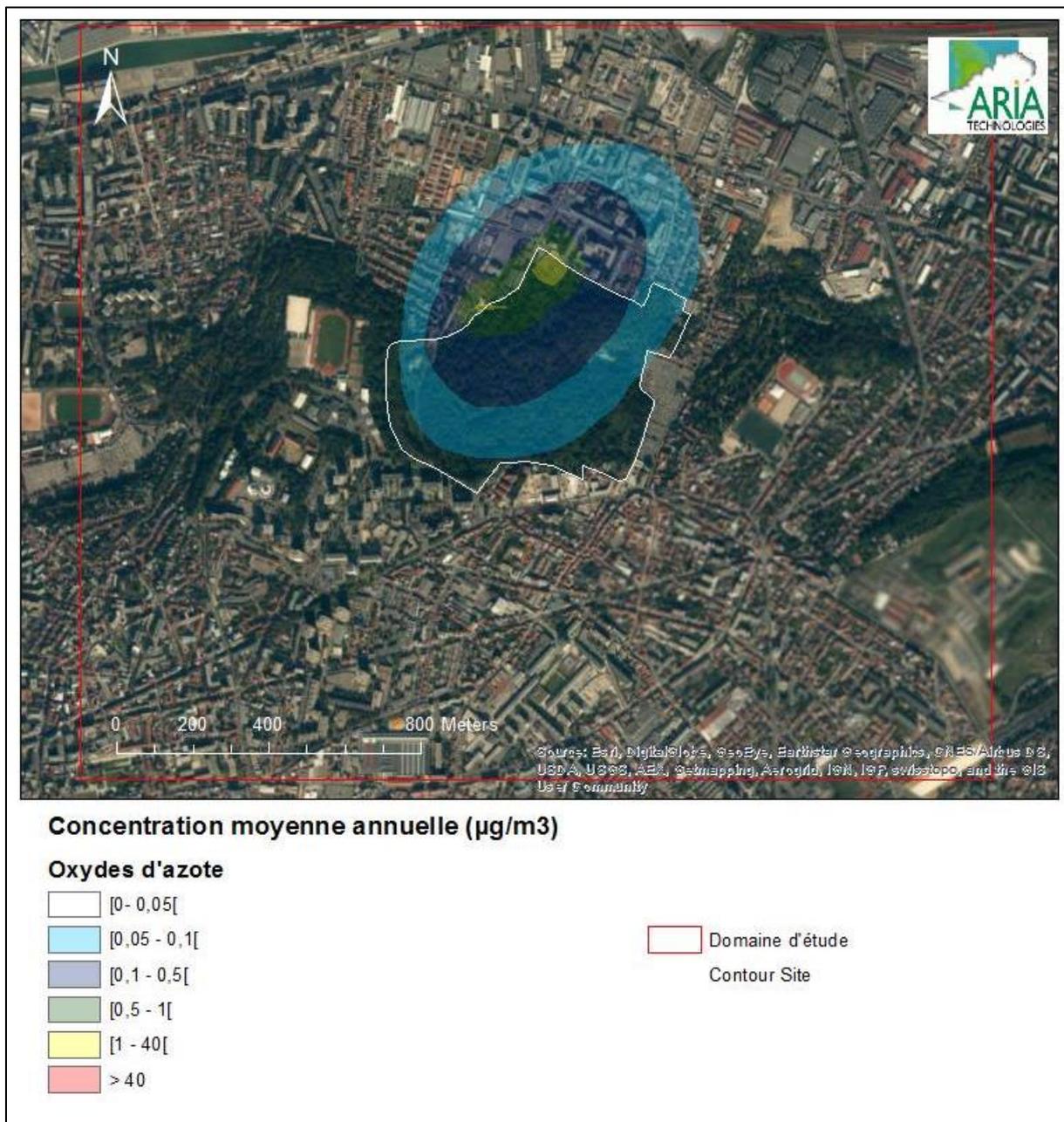


Figure 12 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour le dioxyde de soufre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

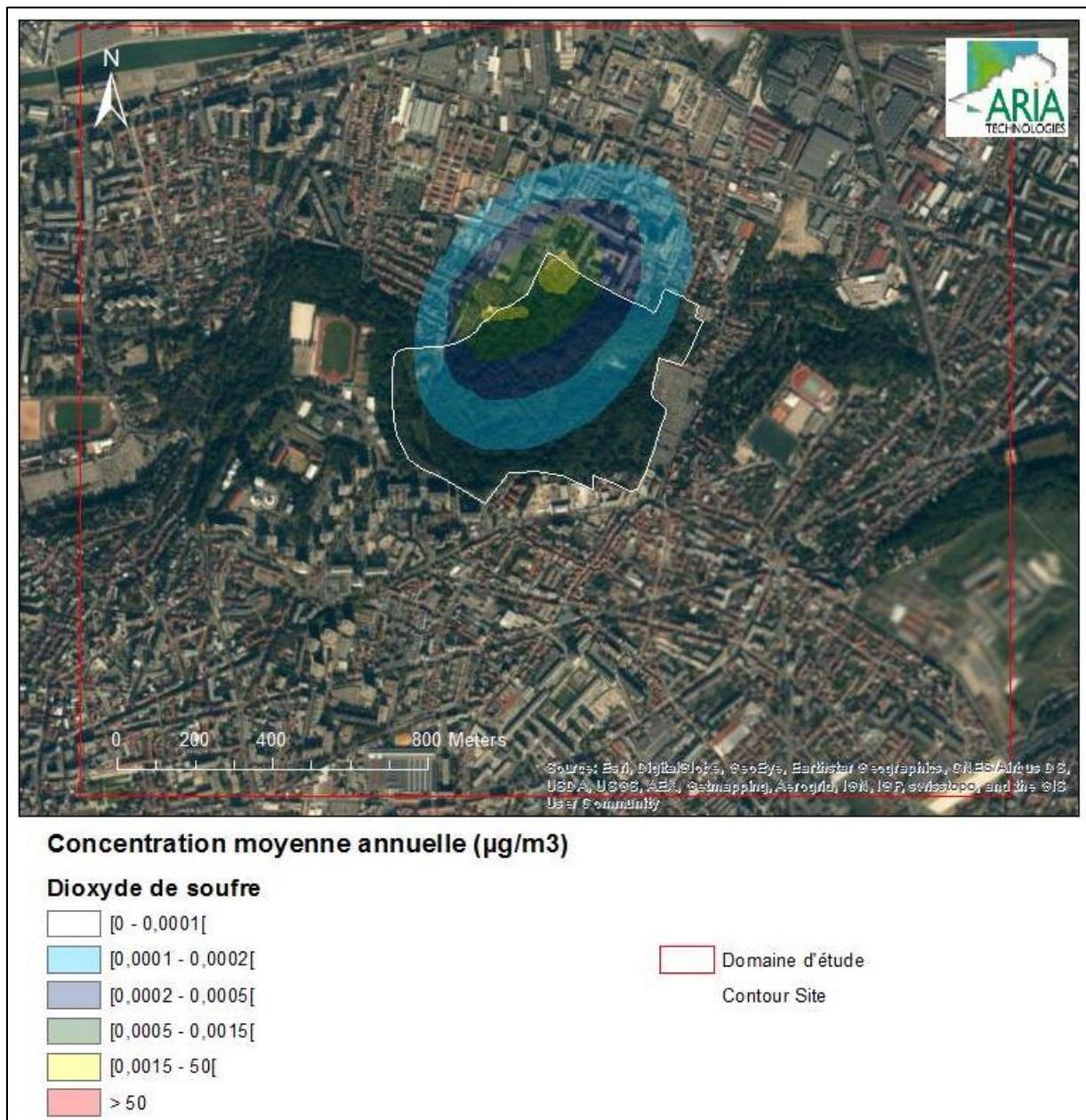


Figure 13 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour le monoxyde de carbone ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

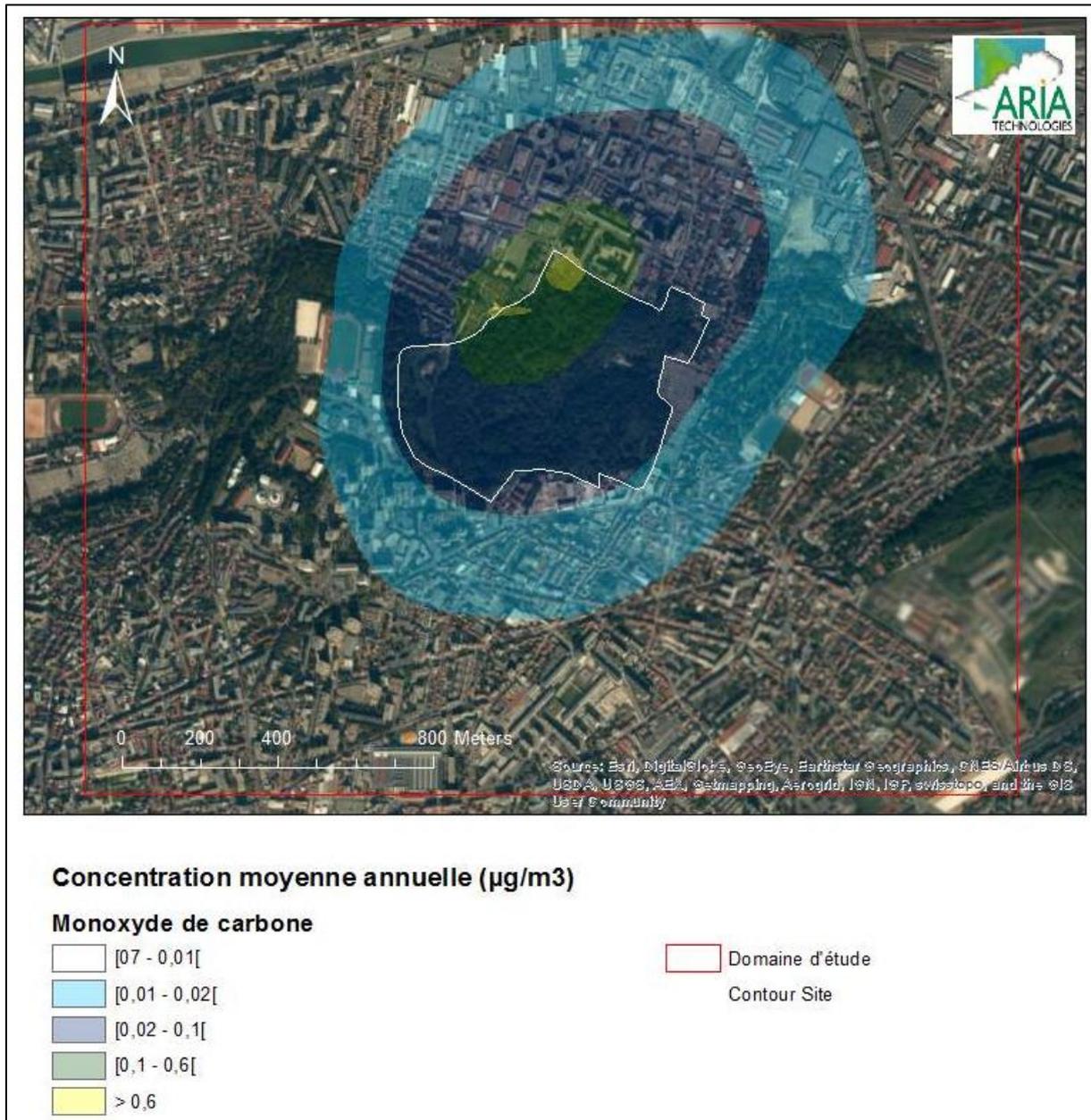


Figure 14 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour les composés organiques volatils ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

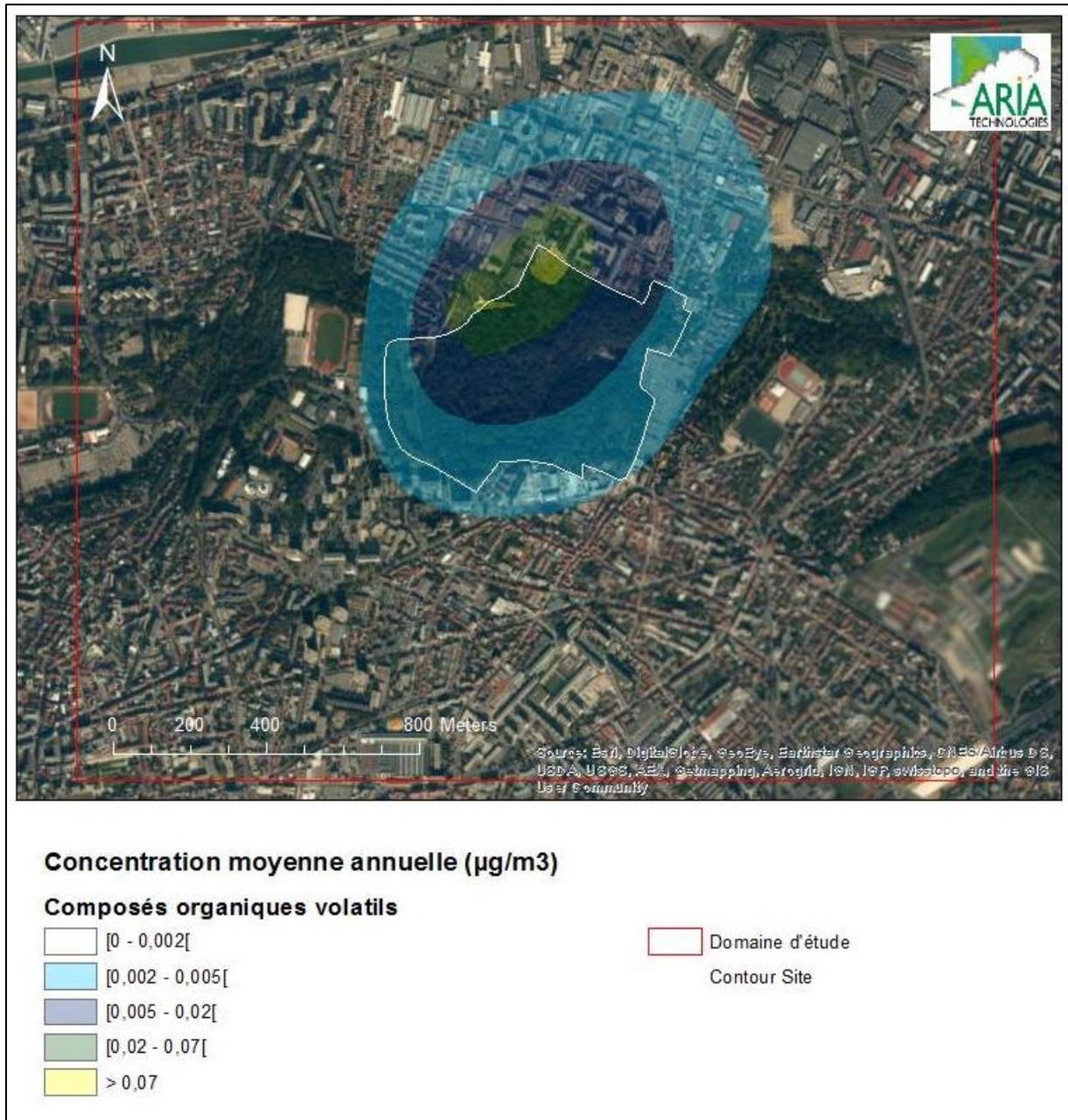
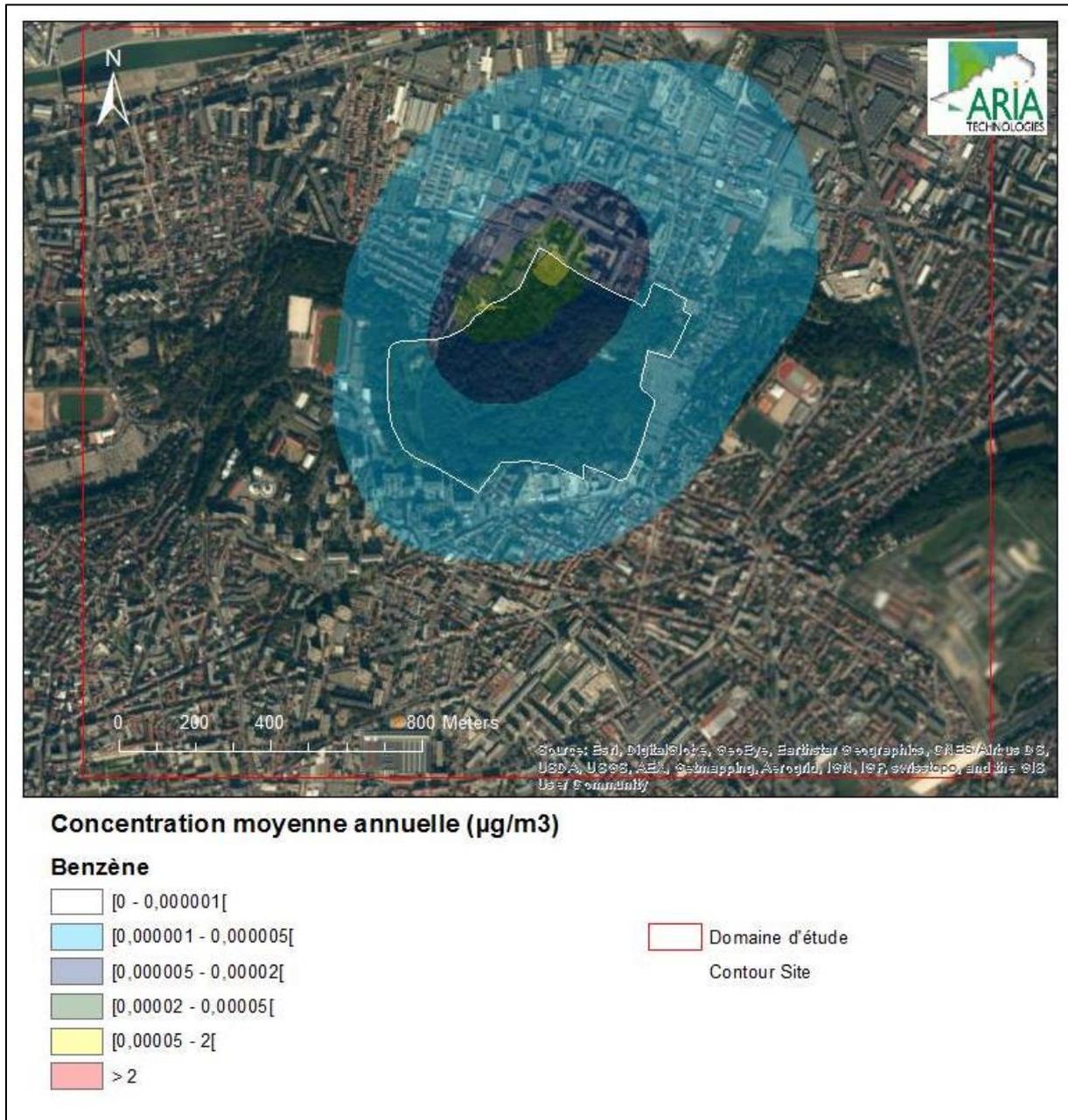


Figure 15 : carte des concentrations en moyenne annuelle pour le benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



4.5.1 Dépôts au sol

Le Tableau 16 présente les dépôts totaux (secs + humides) observés au point géographique le plus pénalisant pour les poussières assimilées à des PM10.

Tableau 16 : maxima des dépôts totaux observés sur le domaine d'étude

	Dépôts totaux		
	$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$	$\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$	$\text{kg}/\text{ha}/\text{an}$
PM10	0,03	2,7	10,0

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 recommandations pour les poussières sédimentables pour l'environnement :

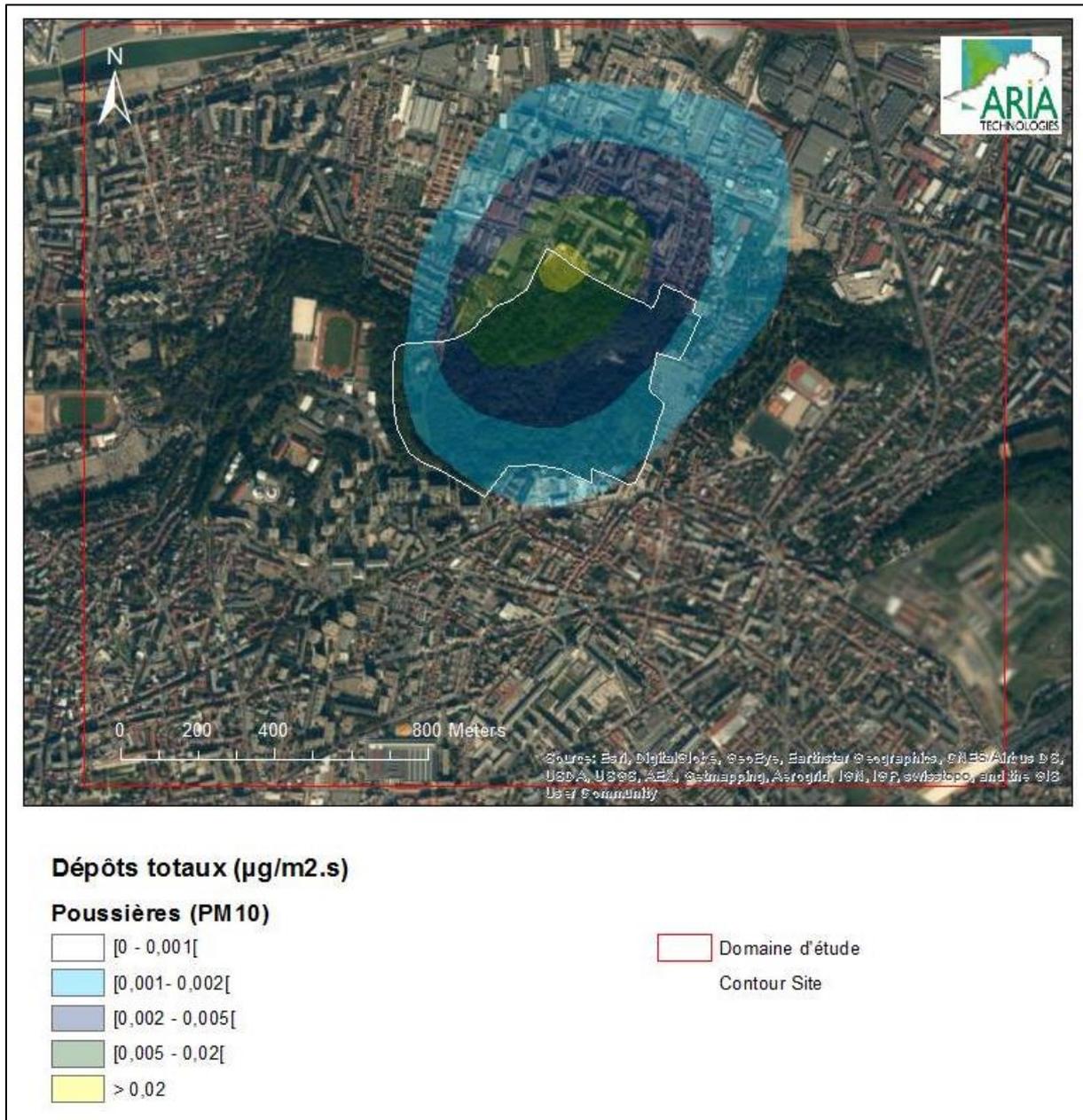
- la Suisse : $200 \text{ mg}/\text{m}^2 / \text{jour} = 730 \text{ kg}/\text{ha}/\text{an}$
- l'Allemagne (TA LUFT) : limite dans l'air ambiant pour éviter une pollution importante = $350 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{jour}$

La valeur obtenue au point géographique le plus pénalisant du domaine d'étude, égale à environ $2,7 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{jour}$, est inférieure à ces valeurs limites admissibles.

On peut également mentionner 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 élevée comparée aux valeurs obtenues par les simulations.

La Figure 16 présente les dépôts totaux (secs et humides) en moyenne annuelle pour les poussières assimilées aux PM10. Les zones de retombées maximales sont observées sur le site, au niveau de la zone de stockage du sablon.

Figure 16 : carte de dépôts totaux (secs + humides) pour les poussières PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)



5. CONCLUSION

Dans le cadre du projet d'aménagement de l'Île de Loisirs de la Corniche des Forts (93), OGI sollicite ARIA Technologies pour la détermination des rejets dans l'air du projet. Le projet se décompose en deux tranches : une tranche ferme et une tranche conditionnelle. La tranche ferme se déroule en première phase.

L'objectif de cette étude est de modéliser la dispersion atmosphérique des rejets du site, **de la première phase de la tranche ferme**, en fonction des données du site (caractéristiques des émissions, conditions climatiques locales, topographie).

La première phase de la tranche ferme correspond à la constitution du stock de sablon en prévision du comblement des carrières présente sur le site.

La constitution du stock de sablon s'est déroulée du 7 juillet au 31 août 2015. La quantité de sablon stockée (32 000 m³) restera sur site jusqu'à son utilisation, courant 2016.

Les sources d'émissions recensées sont les suivantes :

- émissions liées aux camions transportant le sablon jusqu'à la zone de stockage :
 - liées au roulage des camions sur le sol ;
 - liées aux gaz d'échappement ;
 - liées au déchargement des camions ;
- émissions liées aux gaz d'échappement des engins de terrassement ;
- émissions liées aux envolées de poussières sur le stock.

Les données météorologiques utilisées sont des mesures horaires (1 mesure toutes les heures) du vent (force et direction), de la température, de la pluviométrie et des observations de nébulosité sur trois années complètes : du 01/01/2012 au 31/12/2014. Elles proviennent de la station Météo-France de **Paris-Le Bourget**.

Les substances étudiées sont liées à l'activité des engins présents sur le site et aux envolées de poussières provenant du stock de sablon. Il s'agit des espèces suivantes :

- les poussières (PM₁₀) ;
- le dioxyde d'azote (NO₂) ;
- le dioxyde de soufre (SO₂) ;
- le monoxyde de carbone (CO) ;
- les composés organiques (COV) dont le benzène (C₆H₆).

Pour l'ensemble des substances, les concentrations obtenues par modélisation sont inférieures aux valeurs réglementaires françaises en tout point du domaine d'étude. Elles représentent au maximum 7,1 % de l'objectif de qualité pour les poussières assimilées aux PM₁₀.

ANNEXES

Annexe 1 :

Description du logiciel ARIA

Impact

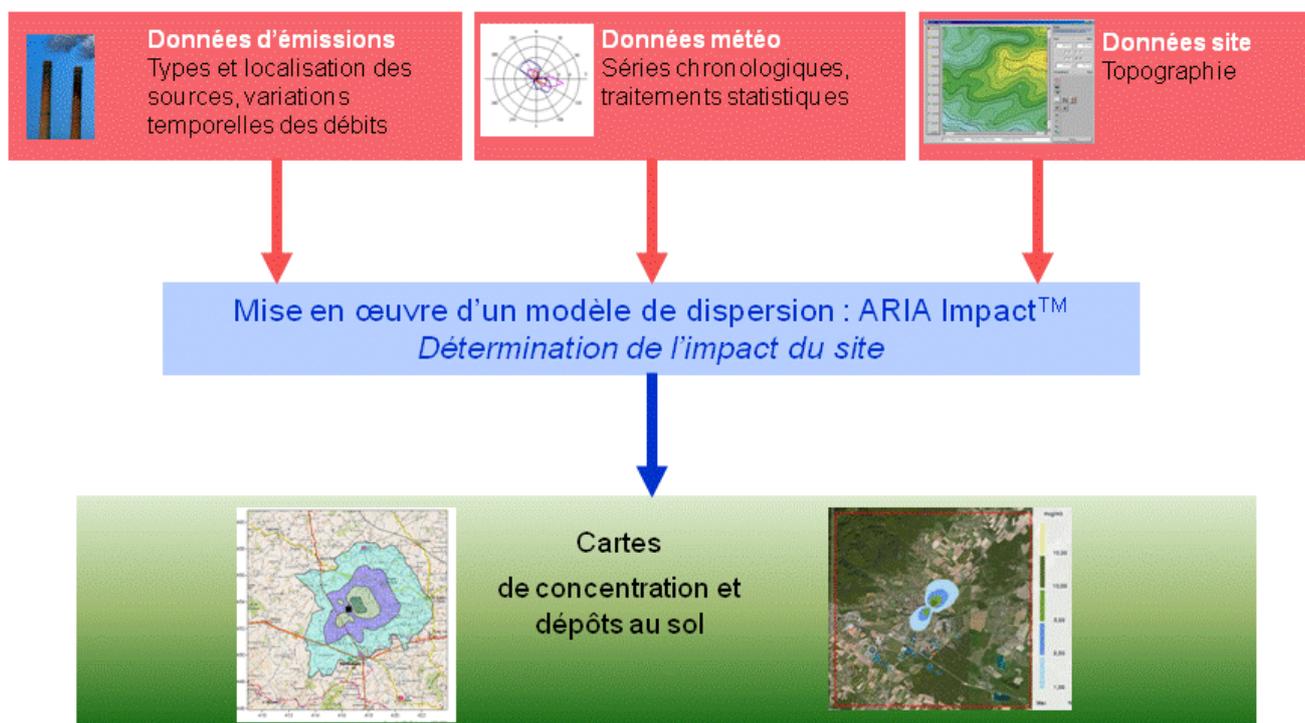
Présentation générale

ARIA Impact™ est un modèle de type "gaussien", conforme aux recommandations de l'E.P.A.⁸. 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 :



⁸ 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 (8760 situations météo sur une année) ce qui permet de bien tenir compte des variations diurnes et saisonnières des concentrations.

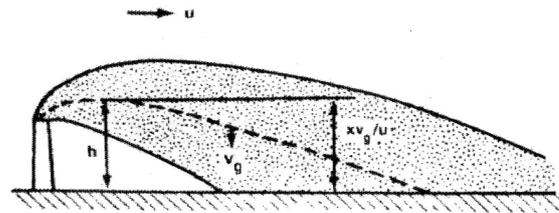
Variation temporelle des émissions

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

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

Dépôts au sol

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



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

Dispersion par vents calmes

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

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

Reconstitution de profils verticaux météorologiques

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

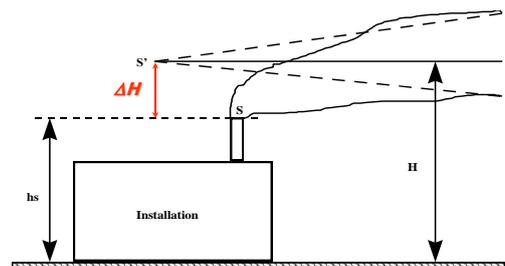
Afin de prendre en compte cette variation de vitesse de vent dans les calculs de la dispersion des polluants atmosphériques, le logiciel ARIA Impact™ peut calculer des profils verticaux de vent en fonction des mesures de vent au sol, de la turbulence atmosphérique et de l'occupation des sols, afin de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

Prise en compte de la couche de mélange

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

Surélévation de panache issu de cheminée

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



Conversion des NOx en NO et NO₂

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

Prise en compte simplifiée de la topographie

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

Envois de poussières

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

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

Résultats

Grandeurs calculées

ARIA Impact™ permet de calculer les grandeurs suivantes :

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

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

Cartographies

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

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



Validation du logiciel ARIA Impact™

L'association RECORD (Recherche coopérative sur les déchets et l'environnement) a demandé à l'Ecole Centrale de Lyon une étude sur les logiciels de modélisation utilisés dans le cadre des études d'impact air pour des industriels. Dans le cadre de cette étude, des comparaisons du modèle ARIA Impact™ ont été réalisées sur les cas-tests de l'outil européen d'évaluation « Model Validation kit ». Cet outil est utilisé pour évaluer les modèles de dispersion atmosphérique. Il s'agit d'une série de cas-tests intégrant des jeux de mesures de terrain qui sont largement référencés dans la validation des modèles. L'évaluation des modèles sur des cas-tests consiste à comparer les résultats d'un modèle à des mesures de terrain représentatives de situations simples. La synthèse du rapport rédigé par l'Ecole Centrale de Lyon est téléchargeable sur le site Internet de l'association RECORD⁹.

Les résultats de cette étude ont montré que la moyenne des concentrations modélisées sur toutes les expériences est proche de la moyenne des concentrations mesurées. D'autre part, le coefficient de corrélation de 0,6 et le pourcentage de résultats dans un facteur 2 par rapport aux mesures de l'ordre de 60% sont satisfaisants. Cette étude montre également qu'ARIA Impact™ a des résultats statistiques équivalents à ceux des autres logiciels de dispersion, dont les logiciels de référence de l'US-EPA AERMOD et ISCST3.

Le logiciel ARIA Impact™ a également fait l'objet de nombreuses comparaisons mesures/calculs dans le cadre d'études spécifiques. Certaines d'entre elles sont reprises dans le dossier de validation du logiciel ARIA Impact™, disponible sur simple demande.

Limite du modèle

ARIA Impact™ **n'est pas applicable** dans les conditions suivantes :

- **lorsque la topographie est trop importante** (zones montagneuses, reliefs pouvant modifier la trajectoire des panaches) : ARIA Impact™ considère la trajectoire du panache rectiligne. Le module spécifique à la topographie ne permet pas au panache de contourner la montagne (il passe au-dessus), ce qui n'est pas le cas en particulier en cas d'atmosphère stable ;
- **lorsque la station météorologique n'est pas représentative de la climatologie du site** : la météorologie est considérée constante sur l'ensemble du domaine d'étude. Il n'y a pas de reconstitution 3D météorologique.

Les résultats du logiciel ARIA Impact™ ne sont pas interprétables à moins de 100 mètres des sources d'émissions.

⁹ Rapport : « Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel – Vers un guide de l'utilisateur - Phase 1 : Etat de l'art, Phase 2 : Evaluation des modèles », R. PERKINS, 2005
<http://www.record-net.org/record/resultetudes.php>