

## BUREAU VERITAS

27 Allée du Chargement  
59 650 VILLENEUVE D'ASCQ  
Tél. : 03 20 19 25 00  
Fax : 03 20 19 25 39



BUREAU  
VERITAS

### « Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel » à Bondues

**Etude du Risque Sanitaire des émissions liées au trafic routier  
dans le cadre de l'aménagement et le renouvellement du site  
Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel**

REVISION	0		
DATE	25 novembre 2011		
REDACTEUR	Nathalie FAZENDA		
VERIFICATEUR	Cora BOYENVAL		

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>PRESENTATION DE L'ETUDE DU RISQUE SANITAIRE.....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>METHODE.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>SENSIBILITE DE L'ENVIRONNEMENT – POPULATION POTENTIELLEMENT EXPOSEE .....</b>	<b>10</b>
1.1	ETAT DE L'ENVIRONNEMENT : BRUIT DE FOND DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE .....	10
1.1.1	Sources de pollution : .....	10
1.1.2	Réseau de mesures de la qualité de l'air.....	10
1.1.3	Campagne de mesures sur l'emprise du projet.....	12
1.2	DESCRIPTIF DE LA POPULATION EXPOSEE.....	13
1.2.1	Recensement des populations.....	13
1.2.2	Etablissements sensibles.....	14
▪	Enseignement.....	14
▪	Etablissements de santé.....	15
▪	Sports et loisirs.....	15
<b>4</b>	<b>INVENTAIRE DES POLLUANTS SUSCEPTIBLES D'ETRE EMIS A L'ATMOSPHERE RETENUS DANS LE CADRE DE L'ETUDE .....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>RELATION DOSE-REPONSE.....</b>	<b>17</b>
5.1	DIOXYDE DE SOUFRE (SO <sub>2</sub> ) .....	18
5.2	DIOXYDE D'AZOTE (NO <sub>2</sub> ) .....	20
5.3	MONOXYDE DE CARBONE (CO).....	22
5.4	PARTICULES .....	23
5.5	BENZENE .....	25
5.6	PLOMB (Pb).....	27
5.7	CADMIUM (Cd) .....	29
5.8	NICKEL (Ni).....	30
5.9	DIOXYDE DE CARBONE (CO <sub>2</sub> ).....	32
5.10	OZONE (O <sub>3</sub> ) .....	33
5.11	QUELQUES CONSEQUENCES DE LA POLLUTION LIEE AU TRAFIC ROUTIER .....	35
5.12	TABLEAUX RECAPITULATIFS DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE REFERENCES RETENUES (ET POUR LES SUBSTANCES RETENUES) POUR L'EVALUATION DES RISQUES SUR LA SANTE .....	37
<b>6</b>	<b>QUANTIFICATION DES EMISSIONS .....</b>	<b>38</b>
6.1	DONNEES SUR LE PARC AUTOMOBILE .....	38
6.2	DONNEES SUR LE TRAFIC .....	39
6.3	CALCUL DES QUANTITES DE POLLUANT EMISES .....	44
<b>7</b>	<b>MODELISATION STATISTIQUE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE ET EVALUATION QUANTIFIEE DU RISQUE SANITAIRE.....</b>	<b>45</b>
7.1	PRESENTATION DU CODE GENERAL UTILISE .....	45
7.2	DESCRIPTION DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES .....	45
7.3	RESULTATS DE LA MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE.....	47
7.4	CARACTERISATION DU RISQUE SANITAIRE .....	55
7.4.1	Caractérisation du risque pour l'exposition par inhalation.....	55
7.4.2	Caractérisation du risque pour l'exposition par ingestion.....	58
7.4.3	Risque global : inhalation et ingestion.....	62
<b>8</b>	<b>INCERTITUDES.....</b>	<b>64</b>
8.1	INTRODUCTION.....	64
8.2	INCERTITUDES SUR LES DONNEES TOXICOLOGIQUES.....	64
8.3	INCERTITUDES LIEES AUX ESTIMATIONS DES EMISSIONS .....	65
8.4	INCERTITUDES LIEES AU MODELE DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE.....	65
8.5	INCERTITUDES LIEES AU MODELE DE REMONTEE DE CHAINE ALIMENTAIRE .....	66

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouveaulement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	--

8.6	LES INCERTITUDES SUR L'EXPOSITION DES POPULATIONS ET SUR LA VARIABILITE DES ETRES HUMAINS AUX DIFFERENTS FACTEURS .....	67
8.7	CONCLUSION SUR LES INCERTITUDES .....	68
<b>9</b>	<b>SYNTHESE ET CONCLUSION.....</b>	<b>69</b>
<b>10</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>70</b>

## GLOSSAIRE

**AFSSA** : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

**AFSSE** : Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale

**ATSDR** : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

**BCF** : Bio Concentration Factor, soit facteur de bioconcentration.

**CAA** : Concentration Admissible dans l'Air.

### **Cancérigène : Classification de l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (US/EPA)**

- **Classe A** : substance cancérigène pour l'homme,
- **Classe B1** : substance probablement cancérigène pour l'homme. Des données limitées chez l'homme sont disponibles,
- **Classe B2** : substance probablement cancérigène pour l'homme. Il existe des preuves suffisantes chez l'animal et des preuves non adéquates ou pas de preuves chez l'homme,
- **Classe C** : cancérigène possible pour l'homme,
- **Classe D** : substance non classifiable quant à la cancérogénicité pour l'homme,
- **Classe E** : substance pour laquelle il existe des preuves de non cancérogénicité pour l'homme.

### **Cancérigène : Classification du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC/IARC/OMS)**

- **Groupe 1** : l'agent (ou le mélange) est cancérigène pour l'homme,
- **Groupe 2A** : l'agent (ou le mélange) est probablement cancérigène pour l'homme : indices limités de cancérogénicité chez l'homme et indices suffisants de cancérogénicité pour l'animal de laboratoire.
- **Groupe 2B** : l'agent (ou le mélange) pourrait être cancérigène pour l'homme.
- **Groupe 3** : l'agent (ou le mélange) ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme.
- **Groupe 4** : l'agent (ou le mélange) n'est probablement pas cancérigène pour l'homme.

### **Cancérigène : Classification de l'Union Européenne (JOCE L110A)**

- **Première catégorie** : substances que l'on sait être cancérogènes pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à de telles substances et l'apparition d'un cancer.
- **Deuxième catégorie** : substances devant être assimilées à des substances cancérogènes pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut provoquer un cancer. Cette présomption est généralement fondée, 1) sur des études appropriées à long terme sur l'animal, 2) sur d'autres informations appropriées.
- **Troisième catégorie** : substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles mais pour lesquelles les informations disponibles ne permettent pas une évaluation satisfaisante. Il existe des informations issues d'études adéquates sur les animaux, mais elles sont insuffisantes pour classer la substance dans la deuxième catégorie.

### **Caractère génotoxique : Classification de l'Union Européenne (JOCE 110A)**

- **Première catégorie** : substances que l'on sait être mutagènes pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à de telles substances et des défauts génétiques héréditaires.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

- **Deuxième catégorie** : substances devant être assimilées à des substances mutagènes pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut entraîner des défauts génétiques héréditaires. Cette présomption est généralement fondée, 1) sur des études sur l'animal, 2) sur d'autres informations appropriées.

- **Troisième catégorie** : substances préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes. Des études appropriées de mutagénicité ont fourni des éléments, mais ils sont insuffisants pour classer la substance dans la deuxième catégorie.

**Centile ou Percentile** : le centile ou percentile x donne une concentration atteinte ou dépassée (100-x) % du temps.

A titre d'exemple, le centile 98 est la concentration atteinte 2% du temps, soit 175 heures par année civile de 365 jours.

**DJA** : Dose Journalière Admissible. C'est le niveau d'exposition sans risque appréciable néfaste pour l'homme.

**DJT** : Dose Journalière Tolérable

**ERI** : Excès de Risque Individuel. C'est la probabilité d'occurrence que la cible a de développer l'effet associé à une substance cancérigène pendant sa vie du fait de l'exposition considérée.

**ERU** : Excès de Risque Unitaire. Par exemple, l' $ERU_i$  du benzène est de  $7,8 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ .

Cela signifie qu'une personne qui serait exposée pendant sa vie entière à  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  du benzène a une probabilité de 7,8 chances sur 1 million de développer un cancer. C'est-à-dire que sur 10 millions de personnes exposées pendant la vie entière, cette concentration va statistiquement entraîner le développement de 78 cancers en excès.

**HESP** : Human Exposure to Soil Pollutants est un modèle d'évaluation des expositions de populations aux polluants du sol dans les études d'évaluation des risques, publié par ECETOC (European Chemical Industry Ecology and Toxicology Centre).

**HHRAP** : Human Health Risk Assessment Protocol for hazardous waste combustion facilities - Guide méthodologique de l'US-EPA datant de 1998 (méthode de calcul pour l'évaluation de l'exposition par ingestion).

**HP** : Heure de Pointe

**INVS** : Institut National de Veille Sanitaire

**INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

**IRSN** : Institut de Radioprotection et de Surêté Nucléaire

**JECFA** : Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives

**MAK** : Equivalent des VME/VLE en Allemagne.

**MEDD** : Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

**MRL** : Niveau de Risque Minimum (Minimal Risk Levels).

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**PL** : Poids Lourd

**REL** : Reference Exposure Level, soit niveau d'exposition de référence équivalent à la RfC.

**RfC** : Concentration de Référence qui est une estimation (avec une certaine incertitude) de l'exposition par inhalation continue d'une population humaine (y compris les sous-groupes sensibles) qui, vraisemblablement, ne présente pas de risque appréciable d'effets néfastes durant une vie entière. Elle s'exprime en masse de substance par m<sup>3</sup> d'air inhalé.

**RfD** : Dose de Référence qui est une estimation (avec une certaine incertitude) de l'exposition journalière d'une population humaine (y compris les sous-groupes sensibles) qui, vraisemblablement, ne présente pas de risque appréciable d'effets néfastes durant une vie entière. Elle s'exprime en masse de substance par kg de poids corporel et par jour.

**TC ou (TCA)** : Concentration Tolérable (dans l'Air).

**TLV** : Threshold limit value, soit valeur limite seuil pour l'exposition en milieu de travail.

**TJMA** : Trafic Journalier Moyen Annuel

**VL** : Véhicule Léger

**VLE** : Valeur Limite de Moyenne d'exposition à court terme, dont le respect permet d'éviter le risque d'effets toxiques immédiats ou à court terme. La VLE est une valeur plafond mesurée sur une durée maximale de 15 mn.

**VME** : Valeur Limite de Moyenne d'Exposition destinée à protéger les travailleurs des effets à terme, mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures. La VME peut être dépassée sur de courtes périodes sous réserve de ne pas dépasser la VLE lorsqu'elle existe.

**VTR** : Valeur Toxicologique de Référence

**US-EPA** : Unites State Environmental Protection Agency

## 1 PRESENTATION DE L'ETUDE DU RISQUE SANITAIRE

Ce rapport présente l'évaluation des risques sanitaires des rejets atmosphériques liés au trafic routier engendré par l'aménagement et renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel sur la commune de Bondues (59).

La démarche utilisée est celle préconisée par l'Institut de Veille Sanitaire à partir de celle qui a été formalisée par l'Académie des Sciences aux Etats Unis en 1983.

Notre étude applique le « guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impacts » (février 2000) de l'Institut de Veille Sanitaire et le guide méthodologique « Evaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des installations classées pour la protection de l'environnement » (2003) mis au point par l'INERIS.

Notre étude tient compte des recommandations du Ministère des transports pour la réalisation des études d'impact et d'effet sur la santé des infrastructures routières.

Elle se déroule en 6 étapes successives :

- 1/ Identification des dangers : Recensement des substances, des agents et des dangers potentiels qu'ils présentent pour la santé de l'homme.
- 2/ Quantification des émissions et des flux de polluants.
- 3/ Relation dose-réponse : Gravité des effets associés à chaque substance et valeurs toxicologiques de référence.
- 4/ Evaluation de l'exposition : Etat initial, zone d'influence du site, population exposée, voies d'exposition, concentrations dans l'environnement et scénarios d'exposition.
- 5/ Caractérisation du risque : Estimation des indices de risque, de l'excès de risque individuel, évaluation des incertitudes et interprétation des résultats.
- 6/ Synthèse et conclusion.

## 2 METHODE

Nous utilisons une approche permettant d'avoir une cartographie de l'impact des émissions sur une longue période afin d'obtenir des résultats :

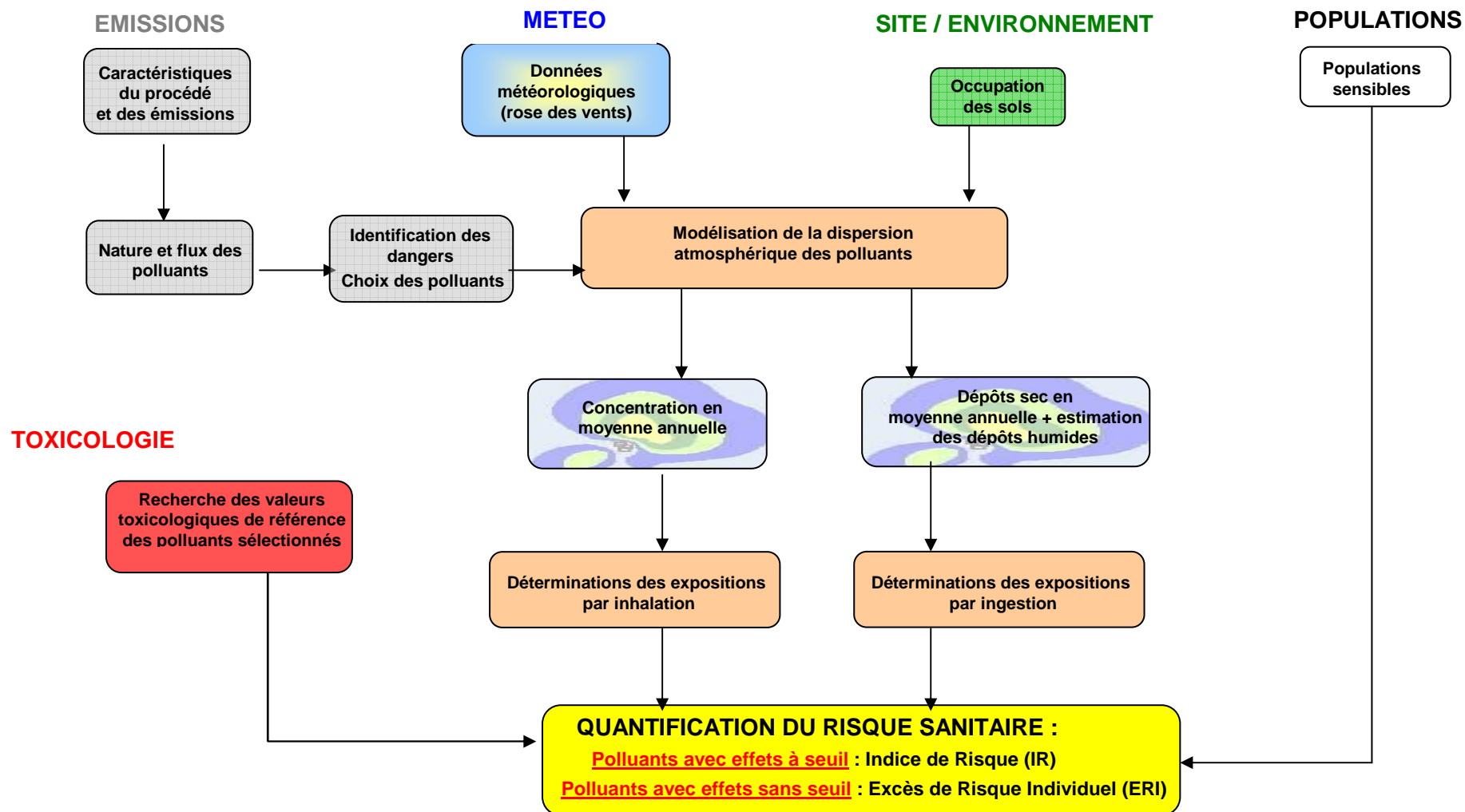
- Comparables aux normes et aux recommandations en vigueur sur la qualité de l'air,
- Utilisables pour l'étape ultérieure d'étude du risque sanitaire (doses-effets) qui s'intéresse aux effets des expositions des populations sur de longues durées.

Les outils de modélisation utilisés correspondent aux recommandations de l'US-EPA pour l'étude d'impact sanitaire des rejets atmosphériques des sources fixes.

**Remarque :** Cette étude a été réalisée avec les connaissances actuelles. La méthode et les outils utilisés sont ceux connus et validés à la date de rédaction du rapport.

Le synoptique suivant présente notre démarche.





### **3 SENSIBILITE DE L'ENVIRONNEMENT – POPULATION POTENTIELLEMENT EXPOSEE**

#### **1.1 Etat de l'environnement : Bruit de fond de la pollution atmosphérique**

##### **1.1.1 Sources de pollution :**

Dans la région considérée, la pollution de l'air provient :

- de la circulation automobile,
- des installations de chauffage urbain et industriel,
- des rejets des autres installations déjà présentes sur la zone ou à venir.

##### **Circulation automobile**

Le projet est localisé à proximité d'axes routiers importants tels que :

- la route nationale 17 qui passe au sud ouest du site,
- la route départementale D64 qui passe à l'est du site.

Le trafic routier dans le secteur est donc important et constitue une contribution non négligeable à la pollution de l'air.

##### **Installations de combustion, industries**

Un certain nombre d'activités sont présentes autour de Bondues (données issues de l'ouvrage « *L'industrie au regard de l'environnement* » publié par la DREAL Nord/Pas-de-Calais en 2010) :

- LESAFFRE : industrie agro-alimentaire localisée à 3,6 km au Sud sur la commune de Marcq en Baroeul,
- LA VOIX DU NORD : Imprimerie, presse, édition localisée à 6 km au Sud sur la commune de Marcq en Baroeul.

Ces activités, ainsi que les installations de chauffage urbain et individuel contribuent à la pollution de l'air.

##### **1.1.2 Réseau de mesures de la qualité de l'air**

La qualité de l'air au niveau dans la région est étudiée par l'association Atmo Nord-Pas-de-Calais qui regroupe depuis 2004 les 4 associations suivantes : AREMASSE, AREMARTOIS, OPAL'AIR et AREMA Lille Métropole.

Les stations du réseau de mesure du secteur les plus proches du site sont les suivantes :

- la station urbaine de Tourcoing,
- la station urbaine de Roubaix Château,
- la station de proximité automobile de Roubaix Serres.

Les mesures réalisées donnent les concentrations pour les polluants suivants en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ :

- le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) :

Mesures 2008	Objectif de qualité	Bilan vis-à-vis des décrets n°98-360, 2002-213, 2003-1085 (réglementation de l'époque)		dépassement vis-à-vis de la procédure d'alerte	
				Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte
	Moyenne annuelle $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne horaire / journalière (percentile 99,7) < $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne horaire / journalière (percentile 99,2) < $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre d'heures de dépassements de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre d'heures de dépassement de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Roubaix Château	3	34	18	0	0
Tourcoing	3	27	14	0	0
Roubaix Serres	-	-	-	-	-

- les poussières en suspension (Ps) :

Les résultats présentés dans le tableau suivant correspondent aux particules « fines » ou poussières en suspension PM10, c'est-à-dire de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 microns.

Mesures 2008	Objectif de qualité	Article R221-1 du Code de l'Environnement (réglementation de l'époque)		dépassement vis-à-vis de la procédure d'alerte	
				Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte
	Moyenne annuelle $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne annuelle $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne horaire / journalière (percentile 90,4) $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre de dépassements de moyenne glissante sur 24 heures ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nombre de dépassements de moyenne glissante sur 24 heures ( $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Roubaix Château	-	-	-	-	-
Tourcoing	31	non disponible	51	121	0
Roubaix Serres	-	-	-	-	-

- le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) :

Mesures 2008	Objectif de qualité	Bilan vis-à-vis des décrets n°98-360, 2002-213, 2003-1085 (réglementation de l'époque)		dépassement vis-à-vis de la procédure d'alerte	
				Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte
	Moyenne annuelle $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne horaire / journalière (percentile 98) $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne horaire / journalière (percentile 99,8) $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre d'heures de dépassements de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre d'heures de dépassements de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Roubaix Château	27	79	111	0	0
Tourcoing	28	74	102	0	0
Roubaix Serres	37	96	142	2	0

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

- l'ozone (O3) :

Mesures 2008	Objectif de qualité	Bilan vis-à-vis des décrets n°98-360, 2002-213, 2003-1085 (réglementation de l'époque)		dépassement vis-à-vis de la procédure d'alerte	
				Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte
	Moyenne sur 8 heures 110 µg/m <sup>3</sup>	/	/	Moyenne horaire 180 µg/m <sup>3</sup>	1 <sup>er</sup> seuil : 240 µg/m <sup>3</sup> 2 <sup>ème</sup> seuil : 300 µg/m <sup>3</sup> 3 <sup>ème</sup> seuil : 360 µg/m <sup>3</sup>
Roubaix Château	42	non disponible	non disponible	0	0 pour les 3 seuils
Tourcoing	46	non disponible	non disponible	0	0 pour les 3 seuils
Roubaix Serres	-	-	-	-	-

- Le benzène :

Mesures 2008	Objectif de qualité	Bilan vis-à-vis des décrets n°98-360, 2002-213, 2003-1085 (réglementation de l'époque)		dépassement vis-à-vis de la procédure d'alerte	
				Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte
	Moyenne annuelle 2 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle 5 µg/m <sup>3</sup>	/	/	/
Roubaix Château	1,1	non disponible	non disponible	non disponible	non disponible
Tourcoing	-	-	-	-	-
Roubaix Serres	-	-	-	-	-

### 1.1.3 Campagne de mesures sur l'emprise du projet

Aucune campagne de mesures n'a été réalisée au niveau de l'emprise du projet. En effet, la présence de stations de surveillance à proximité immédiate du projet permet d'avoir un « point zéro » de la qualité de l'air.

## 1.2 Descriptif de la population exposée

### 1.2.1 Recensement des populations

#### Délimitation de la zone d'étude :

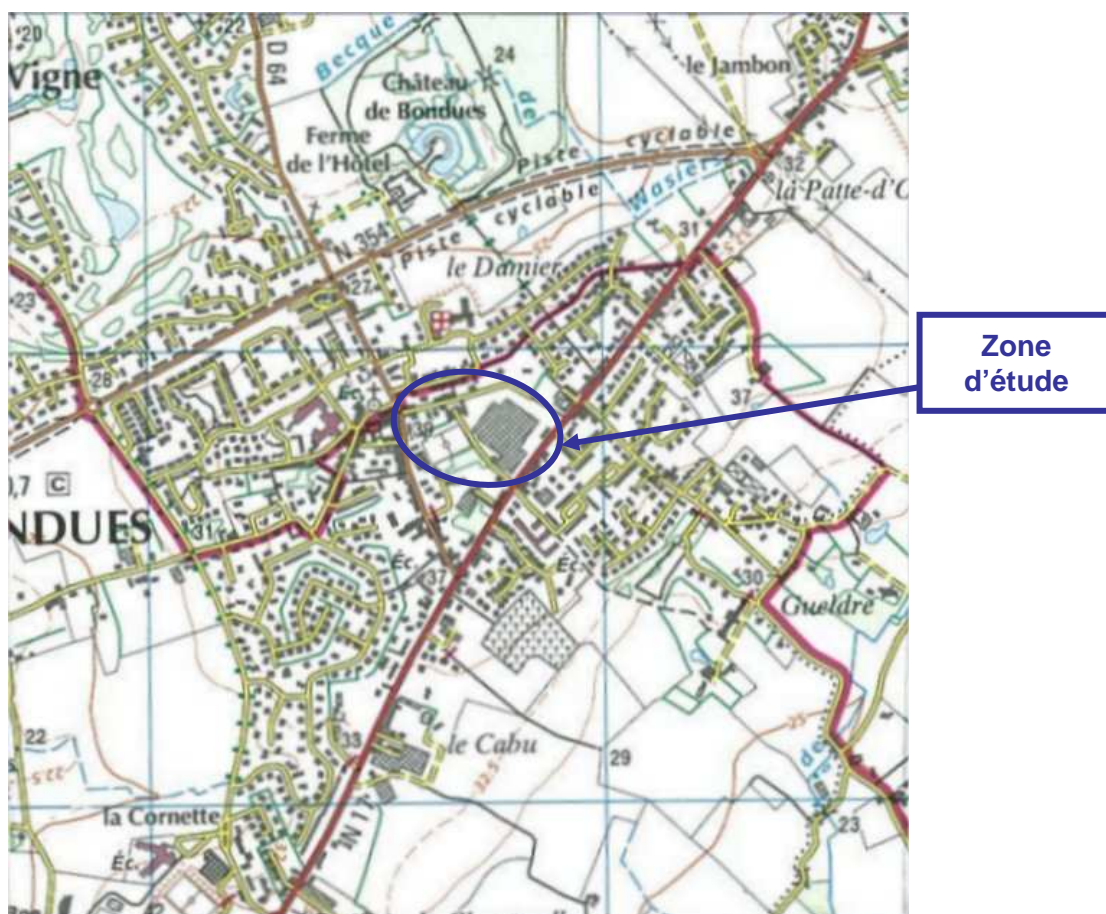
Le domaine étudié doit être suffisamment grand pour que les obstacles (bâtiments, arbres) puissent être considérés comme faisant partie du terrain et pour contenir les panaches calculés.

Nous prendrons un domaine de 2 km de côté centré sur le « triangle » étudié.

Les données de population concernent les communes qui appartiennent (complètement ou partiellement) au domaine d'étude.

La figure ci-dessous présente la zone. La seule commune impactée est Bondues.

*Domaine d'étude de 2 km de côté*



Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

Le tableau ci-dessous l'évolution de la population sur Bondues, seule commune comprise dans le domaine.

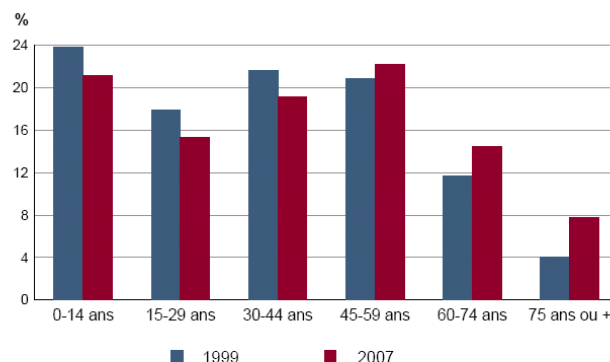
	1968	1975	1982	1990	1999	2007
Population	3 961	6 706	8 840	10 281	10 674	10 082
Densité moyenne (hab/km2)	303,5	513,9	677,4	787,8	817,9	772,5

Sources : Insee, RP1968 à 1990 dénombrements - RP1999 et RP2007 exploitations principales.

La répartition de la population est la suivante :

	Hommes	%	Femmes	%
<b>Ensemble</b>	<b>4 793</b>	<b>100,0</b>	<b>5 288</b>	<b>100,0</b>
0 à 14 ans	1 022	21,3	1 106	20,9
15 à 29 ans	784	16,4	757	14,3
30 à 44 ans	917	19,1	1 012	19,1
45 à 59 ans	1 065	22,2	1 174	22,2
60 à 74 ans	711	14,8	748	14,2
75 à 89 ans	281	5,9	421	8,0
90 ans ou plus	13	0,3	68	1,3
0 à 19 ans	1 374	28,7	1 492	28,2
20 à 64 ans	2 648	55,3	2 828	53,5
65 ans ou plus	771	16,1	969	18,3

Source : Insee, RP2007 exploitation principale.



Sources : Insee, RP1999 et RP2007 exploitations principales.

## 1.2.2 Etablissements sensibles

Les établissements « sensibles » sont des établissements scolaires, des équipements sportifs, des maisons de retraite,... Ils font l'objet d'une attention particulière dans le cadre de l'évaluation de l'impact sanitaire d'un projet étant donné qu'ils constituent des lieux de présence de populations « sensibles » à la pollution (enfants, personnes âgées, personnes pratiquant une activité sportive ...). Les informations présentées ci-après proviennent du site internet de la commune de Bondues.

### ▪ Enseignement

On trouve, à proximité du site, les établissements d'enseignement suivants :

Etablissement	Localisation
Maternelle Sainte Marie	150 m au Sud
Ecole Primaire Publique Maxence Van Der Meersch	250 m à l'Ouest
Ecole Maternelle Publique Maxence Van Der Meersch	300 m à l'Ouest
Ecole Primaire Mixte Saint Joseph	350 m à l'Est
Ecole Maternelle et Primaire Publique les Obeaux	700 m au Sud
Institut de la Croix Blanche	2 km au Nord Ouest

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

### ▪ Etablissements de santé

On trouve à proximité du site, les établissements suivants :

Etablissement	Localisation
Maison d'Accueil Spécialisée M.T. Tamboise	2,5 km à l'Est
Maison de Retraite	350 m au Nord

### ▪ Sports et loisirs

On trouve à proximité du site, les établissements suivants :

Etablissement	Localisation
Golf de Bondues	500 m au Nord
Salle de sport A. Poher	600 m au Sud Ouest
Complexe sportif	700 m au Sud Ouest
Tennis club des Trois villes	800 m au Sud Ouest
Terrain de hockey	1 km au Sud Est
Aérodrome (parachutisme)	1,2 km au Sud Ouest

#### 4 INVENTAIRE DES POLLUANTS SUSCEPTIBLES D'ETRE EMIS A L'ATMOSPHERE RETENUS DANS LE CADRE DE L'ETUDE

La source principale émettrice de polluants est la circulation automobile.

Les gaz d'échappement seront émis au niveau des voies d'accès au projet.

Les véhicules à moteur émettent un grand nombre de polluants.

La Note méthodologique sur l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routières préconise l'étude des polluants suivants :

- du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>),
- du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>),
- du monoxyde de carbone (CO),
- du benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>),
- des particules,
- du plomb (Pb),
- du cadmium (Cd),
- du nickel (Ni).

☞ Nous étudierons ces 8 polluants.

Nota : L'ozone n'est pas quantifié : c'est un polluant secondaire issu des réactions complexes dans l'atmosphère sous l'effet des autres polluants (oxydes d'azote, Composés Organiques Volatils, ...) et du rayonnement solaire.

Notre étude prendra en compte les émissions des véhicules sur les axes routiers proches impactés directement par le projet en termes d'évolution de fréquentation.

**Cette démarche permet de quantifier l'impact sur la santé des riverains du projet.**



## 5 RELATION DOSE-REPONSE

L'inventaire des substances et des agents rejetés, explicité au chapitre précédent, a permis d'identifier les substances les plus dangereuses et potentiellement émises en plus grandes quantités.

L'objectif de ce chapitre est de présenter une synthèse des informations sur la dangerosité de ces substances et les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR).

Pour toutes ces substances, les sources suivantes ont été systématiquement consultées (seules les sources fournissant des informations sont citées dans l'étude) :

- FURETOX : base de données de l'InVS (Institut de Veille Sanitaire) et du Ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports
- United States Environmental Protection Agency (US EPA),
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR),
- L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS ou WHO),
- Base de donnée ITER (International Toxicity Estimates for Risk),
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM),
- Health Canada,
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA, California EPA),
- Fiches Toxicologiques INRS,
- Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC ou IARC),
- Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS),

### Commentaire sur le choix des VTR pour l'évaluation des risques :

Pour certaines substances, plusieurs VTR ont été établies. Conformément à la *Circulaire n°2006-234 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact*, nous avons retenu en priorité les VTR proposées par des organismes tels que l'US-EPA, puis l'ATSDR puis l'OMS, et dans un second temps Health Canada, puis le RIVM et en dernier lieu l'OEHHA (California EPA).

Dans le cas où aucune VTR n'est donnée pour une substance considérée, nous avons suivi les préconisations de la Circulaire du 30 mai 2006 et nous n'avons pas extrapolé d'indicateur à partir de la valeur d'exposition moyenne pour les travailleurs (VME, TLV, Valeur MAK).

## 5.1 Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

### ▪ Propriétés physiques et chimiques

Identification :      Numéro CAS : 7446-09-5  
                              Masse molaire : 64,06 g/mol  
                              Point d'ébullition : -10°C à 1,013 bar  
                              1 ppm = 2,62 mg/m<sup>3</sup>  
                              Phrase de risque : R23-34

**Voies d'exposition** : inhalation

### ▪ Données toxicologiques :

#### *Pour le travailleur :*

L'INRS (FT 41 – Édition 2006) indique les valeurs limites d'exposition moyennes suivantes :

- VME = 2 ppm soit 5 mg/m<sup>3</sup>,
- VLE = 5 ppm soit 10 mg/m<sup>3</sup>.

#### *Pour la population (exposition chronique) :*

	Effet	VTR	Organe cible	Année de révision	Source
Inhalation	-	<b>Ligne directrice = 50 µg/m<sup>3</sup></b>	Système respiratoire	2005	OMS
	-	Objectif de la qualité de l'air = 50 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	-	Article R221-1 du code de l'Environnement	

Dans son guide "Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide de 2005, l'OMS a mis à jour les lignes directrices (valeurs guide) relatives à la qualité d l'air de 4 polluants usuels de l'air: les particules, l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre.

Pour le SO<sub>2</sub>, la ligne directrice annuelle de 50 µg/m<sup>3</sup> n'a pas été conservée. L'OMS indique qu'une valeur guide annuelle n'est pas nécessaire puisque l'observance de la concentration sur 24 heures garantira des concentrations moyennes annuelles faibles. Ces valeurs indicatives recommandées pour le SO<sub>2</sub> ne sont pas liées à celles des particules. Comme la valeur indicative révisée sur 24 heures peut être très difficile à atteindre pour certains pays à court terme, une approche progressive fixant des objectifs intermédiaires est recommandée (voir Tableau ci-dessous).

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

	Moyenne sur 24 heures ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Moyenne sur 10 minutes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Base de la concentration choisie
Première cible Intermédiaire*	125	-	
Deuxième cible intermédiaire	50	-	Objectif intermédiaire basé sur le contrôle des émissions des véhicules moteur, des émissions industrielles et/ou des émissions des centrales énergétiques. Ce serait un objectif raisonnable et faisable dans certains pays en développement (qui pourrait être atteint en quelques années), qui conduirait à des améliorations importantes de la santé, qui à leur tour, justifieraient d'autres améliorations (par exemple viser la valeur des lignes directrices).
Lignes directrices relatives à la qualité de l'air	20	500	

\* Ancienne ligne directrice OMS relative à la qualité de l'air (OMS, 2000).

Le seuil de recommandation et d'information en moyenne horaire est de  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Le seuil d'alerte est de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire, dépassé pendant trois heures consécutives.

#### **Pour la population (exposition aiguë) :**

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe les valeurs limites pour la protection de la santé humaine :

- 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de vingt-quatre fois par année civile ;
- 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de trois fois par année civile ;

#### **Cancérogénicité :**

Le dioxyde de soufre est classé :

- groupe 3 par le CIRC : ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme,
- non classé par l'Union Européenne (JOCE, 2004) : substance devant être assimilée à des substances cancérogènes pour l'homme.

Aucun Excès de Risque Unitaire par inhalation ( $\text{ERU}_{\text{inh}}$ ) n'a donc été publié à ce jour.

#### **■ Sources**

- Fiche toxicologique n°41, INRS, 2006,
- ICSC n°74, 1994,
- WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005 (OMS),
- Articles R221-1 et suivants du code de l'Environnement,
- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$ , - INERIS, juillet 2005.

## 5.2 Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

### ▪ Propriétés physiques et chimiques

Identification : Numéro CAS : 10102-44-0  
 Masse molaire : 46,01 g/mol  
 Point d'ébullition : 21,15°C à 1,013 bar  
 1 ppm = 1,91 mg/m<sup>3</sup>  
 Phrase de risque : R26-34

**Voies d'exposition :** inhalation

### ▪ Données toxicologiques :

#### *Pour le travailleur :*

L'INRS (FT 133 – Édition 2006) indique les valeurs limites d'exposition moyennes suivantes :  
**VLE = 3 ppm soit 6 mg/m<sup>3</sup>.**

#### *Pour la population (exposition chronique) :*

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe un **objectif de qualité à 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle.**

Le seuil de recommandation et d'information en moyenne horaire est de 200 µg/m<sup>3</sup>.  
 Les seuils d'alerte sont de 400 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire, dépassé pendant trois heures consécutives et de 200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire si la procédure d'information et de recommandation pour le NO<sub>2</sub> a été déclenchée la veille et le jour même et que les prévisions font craindre un nouveau risque de déclenchement pour le lendemain.

	Effet	VTR	Organe cible	Année de révision	Source
Inhalation	-	<b>Ligne directrice = 40 µg/m<sup>3</sup></b>	Système respiratoire	2005	OMS
	-	Objectif de la qualité de l'air = 40 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	-	Article R221-1 du code de l'Environnement	

#### *Pour la population (exposition aiguë) :*

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe les valeurs limites horaire pour la protection de la santé humaine : 200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de dix-huit fois par année civile.

### **Cancérogénicité :**

Non classé cancérigène.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## ▪ Sources

- Fiche toxicologique n°133, INRS, 2006,
- ICSC n°930,
- WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005 (OMS),
- Articles R221-1 et suivants du code de l'Environnement,
- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Oxydes d'azote NO<sub>x</sub>, - INERIS, juillet 2005.

### 5.3 Monoxyde de carbone (CO)

#### ▪ Propriétés physiques et chimiques

Identification :      Numéro CAS : 630-08-0  
Masse molaire : 28,01 g/mol  
Point d'ébullition : -119°C à 1,013 bar  
1 ppm = 1,14 mg /m<sup>3</sup>  
Phrase de risque : R12-61-23-48/23

**Voies d'exposition :** inhalation

#### ▪ Données toxicologiques :

##### *Pour le travailleur :*

L'INRS (FT 47 – Édition 2009) indique la valeur limite d'exposition moyenne suivante :  
VME = 50 ppm soit 55 mg/m<sup>3</sup>.

##### *Pour la population (exposition chronique) :*

Les valeurs guides recommandées par l'OMS sont les suivantes :

- 100 mg/m<sup>3</sup> (87 ppm) pendant 15 mn,
- 60 mg/m<sup>3</sup> (52 ppm) pendant 30 mn,
- 30 mg/ m<sup>3</sup> (26 ppm) pendant 1 heure,
- 10 mg/m<sup>3</sup> (9 ppm) pendant 8 heures,

##### *Pour la population (exposition aiguë) :*

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe une valeur limite pour la protection de la santé humaine de **10 mg/m<sup>3</sup> pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures.**

#### **Cancérogénicité :**

Non classé cancérigène.

#### ▪ Sources

- Fiche toxicologique n°47, INRS, 2009,
- ICSC n°0023,
- Air Quality Guidelines, WHO, 2000 (OMS),
- Articles R221-1 et suivants du code de l'Environnement.

## 5.4 Particules

### ▪ Propriétés physiques et chimiques

Nous considérons ici les particules (ou poussières) en tant qu'agent physique.

**Voies d'exposition :** inhalation

### ▪ Données toxicologiques :

Le tableau suivant montre les effets sanitaires et les risques relatifs pour une augmentation de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  des particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 micromètres (PM10).

Effets sanitaires	Risques relatifs	Intervalle de confiance à 95%
Mortalité totale (adulte de plus de 30 ans)	1,043	[1,026-1,061]
Admissions hospitalières pour cause respiratoire (tous âges)	1,0131	[1,001-1,025]
Admissions hospitalières pour affections cardiovasculaires (tous âges)	1,0125	[1,007-1,019]
Incidence de la bronchite chronique	1,098	[1,009-1,194]
Bronchite (enfants < 15 ans)	1,306	[1,135-1,502]
Jours d'activité restreinte*	1,094	[1,079-1,109]
Crise d'asthme** chez l'enfant (< 15 ans)	1,044	[1,027-1,062]
Crise d'asthme** chez l'adulte	1,039	[1,019-1,059]

\* : jours d'activité restreinte : nombre de personnes-jours par an.

\*\* : crises d'asthme : nombre de personnes-jour avec crise d'asthme.  
(CAREPS, 2002)

### **Pour la population (exposition chronique) :**

L'exposition à long terme peut être responsable de la diminution de la capacité respiratoire, de l'augmentation des cas de bronchite et peut même causer la mort. (Air Quality Guidelines, WHO, 2000).

	Effets	VTR	Organe cible	Année de révision	Source
Inhalation	-	<b>Ligne directrice = <math>20 \mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	Système respiratoire et cardiovasculaire	2005	OMS
	-	Objectif de la qualité de l'air = $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	-	Article R221-1 du code de l'Environnement	

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe un **objectif de qualité de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle** des concentrations de particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 micromètres (PM10).

Le seuil d'information et de recommandation est de 50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière selon des modalités de déclenchement définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement ;  
Le seuil d'alerte est de 80 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière selon des modalités de déclenchement définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement.

***Pour la population (exposition aiguë) :***

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe les valeurs limites horaire pour la protection de la santé humaine :

50 µg/m<sup>3</sup> en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de trente-cinq fois par année civile ;

40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle civile.

***Cancérogénicité :***

Les particules ne sont pas classées cancérogènes.

▪ **Sources:**

- WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide Global update 2005 (OMS),
- Articles R221-1 et suivants du code de l'Environnement,
- Brunekreff B., Air pollution expectancy, 1997.



## 5.5 Benzène

### ▪ Propriétés physiques et chimiques

Identification :      Numéro CAS : 71-43-2  
                               Masse molaire : 78,11 g/mol  
                               Point d'ébullition : 80,1 °C à 1,013 bar  
                               1 ppm = 3,25 mg/m<sup>3</sup>  
                               Phrase de risque : R45-11-48/23/24/25

**Voies d'exposition :** inhalation

### ▪ Données toxicologiques :

#### *Pour le travailleur :*

L'INRS (FT49- édition 2007) indique une valeur limite d'exposition moyenne suivante :  
 VME = 1 ppm soit 3,25 mg/m<sup>3</sup> sur 8 heures.

#### *Pour la population (exposition chronique) :*

	Effet	VTR	Organe cible	Année de révision	Source
Inhalation	-	Objectif de la qualité de l'air = 2 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	-	Article R221-1 du code de l'Environnement	
	avec seuil	<b>0,03 mg/m<sup>3</sup></b>	Système immunitaire	<b>2003</b>	<b>US-EPA</b>
		0,0098 mg/m <sup>3</sup>		2007	ATSDR
		0,06 mg/m <sup>3</sup>		2005	OEHHA
	sans seuil	<b>2,2x10<sup>-6</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup></b>	Système haematopoietic Leucémies	<b>1998</b>	<b>US-EPA</b>
		6x10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		2000	OMS
		20 (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		2000	RIVM
		0,000029 (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		2005	OEHHA
		15 (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		1991	Health Canada

***Pour la population (exposition aiguë) :***

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe la valeur limite pour la protection de la santé humaine : 5 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle civile.

***Cancérogénicité :***

Le benzène est classé :

- catégorie 1 par l'Union Européenne : substance que l'on sait être cancérigène pour l'homme (JOCE, 2004) et mutagène 2
- groupe 1 par le CIRC : agent cancérigène pour l'homme,
- groupe A par l'US-EPA : substance cancérigène pour l'homme.

**▪ Sources :**

- Fiche Toxicologique n°49, INRS, 2007,
- ICSC n°0015,
- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Benzène, - INERIS, avril 2006,
- Articles R221-1 et suivants du code de l'Environnement
- ATSDR,
- IRIS, US-EPA,
- OEHHA,
- Health Canada,
- Air quality guidelines, Second edition – WHO.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## 5.6 Plomb (Pb)

### ▪ Propriétés physiques et chimiques

Identification :      Numéro CAS : 7439-92-1  
                               Masse molaire : 207,2 g/mol  
                               Point d'ébullition : 1740°C à 1,013 bar  
                               1 ppm = 9,25 mg/m<sup>3</sup>  
                               Phrase de risque pour le monoxyde de plomb : R61-62-20/22-33

**Voies d'exposition** : inhalation et ingestion

### ▪ Données toxicologiques :

#### *Pour le travailleur :*

Une valeur limite contraignante de moyenne d'exposition professionnelle dans l'air des locaux de travail a été établie en France pour le plomb métallique et ses composés (art. R. 231-58 du Code du travail) : 0,10 mg/m<sup>3</sup> (en Pb) (8 h).

Une valeur limite biologique à ne pas dépasser a été établie en France pour la plombémie des travailleurs pouvant être exposés au plomb ou à ses composés (art. R. 231-58-6 du Code du travail) : 400 µg de plomb par litre de sang pour les hommes et 300 µg de plomb par litre de sang pour les femmes.

#### *Pour la population (exposition chronique) :*

	Effet	VTR	Organe cible	Année de révision	Source
Inhalation	-	Objectif de qualité de l'air = 0,25 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle valeur limite de la qualité de l'air = 0,5 µg/m <sup>3</sup> en moyenne annuelle	-	Article R221-1 du code de l'Environnement	
	avec seuil	0,0005 mg/m <sup>3</sup>	-	2000	OMS
	sans seuil	0,000012 (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Système nerveux, cardio-vasculaire et développement	2003	OEHHA
Ingestion	avec seuil	0,0036 mg/kg/j	Cerveau, système nerveux central, système cardio-vasculaire	2000	RIVM
	sans seuil	0,0085 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Rein	2002	OEHHA

***Cancérogénicité :***

Le plomb est classé :

- groupe 2B par le CIRC : potentiellement cancérigène pour l'homme,
- groupe B2 par l'US-EPA : potentiellement cancérigène pour l'homme.

**▪ Sources**

- Fiche Toxicologique n°59, INRS, 2006,
- ICSC n°0052,
- Articles R221-1 et suivants du code de l'Environnement
- OEHHA,
- OMS,
- RIVM,
- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Plomb, INERIS, février 2003,

## 5.7 Cadmium (Cd)

### ▪ Propriétés physiques et chimiques

Identification :      Numéro CAS : 7440-43-9  
Masse molaire : 112,4 g/mol  
Point d'ébullition : 765 °C à 1,13 bar  
1 ppm = 4,61 mg /m<sup>3</sup>

**Voies d'exposition :** inhalation, ingestion

### ▪ Données toxicologiques :

#### *Pour le travailleur :*

L'INRS (FT 60 – Édition 1997) indique les valeurs limites d'exposition moyennes suivantes :  
VME = 0,05 mg/m<sup>3</sup> pour le Cd et ses composés.

#### *Pour la population (exposition chronique) :*

	Effet	VTR	Organe cible	Année de révision	Source
<b>Inhalation</b>	avec seuil	<b>0,000005 mg/m<sup>3</sup></b>	Rein	2000	<b>OMS</b>
	sans seuil	<b>0,0018 (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup></b>	Système respiratoire (poumon)	-	<b>US EPA</b>
		5,1 µg/m <sup>3</sup>		1993	Health Canada
		0,0042 (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		2002	OEHHA
<b>Ingestion</b>	avec seuil	<b>0,001 mg/kg/j</b>	Rein	-	<b>US EPA</b>
		0,0005 mg/kg/j		2000	RIVM
		7.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j		2004	OMS
	sans seuil	-	-	-	-

### **Cancérogénicité :**

Le cadmium est classé :

- Catégorie 2 par l'Union Européenne (JOCE, 2004) : substance devant être assimilée à des substances cancérogènes pour l'homme, mutagène 3 et reprotoxique 3
- groupe 1 par le CIRC : cancérogène pour l'homme,
- groupe B1 par l'US-EPA : probablement cancérogène pour l'homme.

### ▪ Sources

- Fiche Toxicologique n°60, INRS, 1997.
- ICSC n°20,
- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Cadmium, INERIS, février 2005,
- ATSDR, OMS, US EPA, Health Canada, RIVM, OEHHA ;

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## 5.8 Nickel (Ni)

### ▪ Propriétés physiques et chimiques

Identification :      Numéro CAS : 7440-02-0  
                               Masse molaire : 58,7 g/mol  
                               Point d'ébullition : 2730 °C à 1,013 bar  
                               1 ppm = 2,62 mg/m<sup>3</sup>  
                               Phrase de risque : R40-43

**Voies d'exposition :** inhalation et ingestion

### ▪ Données toxicologiques :

**Pour le travailleur :**

L'INRS (FT 68 – Édition 2009) indique les valeurs limites d'exposition moyennes suivantes :  
 VME = 1 mg/m<sup>3</sup> pour le nickel (métal),

**Pour la population (exposition chronique) :**

	Effet	VTR	Organe cible	Année de révision	Source
<b>Inhalation</b>	avec seuil	<b>0,00009 mg/m<sup>3</sup></b>	Système respiratoire	<b>2005</b>	<b>ATSDR</b>
		0,000018 mg/m <sup>3</sup>		1993	Health Canada
		0,00005 mg/m <sup>3</sup>		2000	RIVM
	sans seuil	<b>2,4.10<sup>-4</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup></b>	Système respiratoire	<b>-</b>	<b>US EPA</b>
		3,8.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		1999	OMS
		2,6.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		2003	OEHHA
<b>Ingestion</b>	avec seuil	<b>2.10<sup>-2</sup> mg/kg/j pour les composés solubles</b>	Système respiratoire	<b>1996</b>	<b>US EPA</b>
		5 µg/kg/j		2004	OMS
		0,05 mg/kg/j		2000	RIVM
	sans seuil	-	-	-	-

### **Cancérogénicité :**

Le nickel est classé :

- Catégorie 3 par l'Union Européenne (JOCE, 2004) : substances préoccupantes pour l'homme,
- groupe 2B par le CIRC : cancérogène possible chez l'homme.

### ▪ Sources

- Fiche Toxicologique n°68, INRS, 2009
- ICSC n°62,

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

- Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques – Nickel, INERIS, juillet 2006,
- ATSDR,
- Health Canada,
- RIVM,
- OEHHA,

## 5.9 Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

Le dioxyde de carbone (gaz carbonique) est issu de l'oxydation des produits carbonés (bois, papiers, plastiques, carburants) lors de la combustion y compris dans les moteurs.

Le dioxyde de carbone n'est pas toxique.

5 % de dioxyde de carbone dans l'air induit une augmentation du rythme respiratoire (hyperventilation).

Ce gaz n'est pas un polluant à proprement parler mais il contribue à l'effet de serre.

La France est engagée dans un processus de réduction global des rejets de dioxydes de carbone.



### 5.10 Ozone (O<sub>3</sub>)

L'ozone (O<sub>3</sub>) est un polluant secondaire. Il n'est pas rejeté par la centrale thermique mais est susceptible de se former par pollution photochimique à partir des Composés Organiques Volatiles (COV) et des oxydes d'azote.

- **Conséquences d'une accumulation d'ozone dans la troposphère**

- \* **Santé**

L'ozone, gaz peu soluble et très oxydant, pénètre profondément dans l'appareil respiratoire. Par ses propriétés oxydantes et sa structure chimique, l'ozone est un gaz qui peut réagir sur les composants cellulaires et affecter les capacités respiratoires. Ces effets sont accentués lors d'efforts physiques et d'expositions prolongées: en particulier, l'ozone provoque, dès une exposition prolongée à une concentration de 150 à 200 µg/m<sup>3</sup>, des irritations oculaires ou de la toux, surtout chez les personnes sensibles: enfants et asthmatiques. Les autres espèces photochimiques (nitrate de peroxyacétyle, aldéhydes...) peuvent provoquer des effets identiques.

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe les concentrations suivantes :

- Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine : 120 µg/m<sup>3</sup> pour le maximum journalier de la moyenne sur huit heures, pendant une année civile
- Valeur cible pour la protection de la santé humaine : 120 µg/m<sup>3</sup> pour le maximum journalier de la moyenne sur huit heures, seuil à ne pas dépasser plus de vingt-cinq jours par année civile en moyenne calculée sur trois ans ou, à défaut d'une série complète et continue de données annuelles sur cette période, calculée sur des données valides relevées pendant un an

- \* **Végétaux**

L'ozone peut perturber l'activité photosynthétique des végétaux, altérer leur résistance, diminuer la productivité des cultures et provoquer des lésions caractéristiques.

Les effets chroniques se traduisent par l'apparition de petites taches nécrotiques réparties sur la surface des feuilles. Ces symptômes résultent de la destruction partielle de certains groupes de cellules.

Ils apparaissent chez les plantes sensibles après une exposition de quelques heures à des concentrations en ozone supérieures ou égales à 40 ppm (86 µg/m<sup>3</sup>).

Les polluants photochimiques, tels que l'ozone, l'eau oxygénée, contribuent aussi avec les dépôts acides et d'autres facteurs défavorables (sécheresses, pauvreté des sols...) aux troubles forestiers observés en Europe et en Amérique du nord, et accentuent le pouvoir acidifiant des oxydes de soufre et d'azote en accélérant leur oxydation en sulfates et nitrates.

L'article R221-1 du code de l'Environnement fixe les concentrations suivantes :

- Objectif de qualité pour la protection de la végétation : 6 000 µg/m<sup>3</sup>.h en AOT40, calculé à partir des valeurs enregistrées sur une heure de mai à juillet,
- Valeur cible pour la protection de la végétation : 18 000 µg/m<sup>3</sup>.h en AOT40, calculées à partir des valeurs sur une heure de mai à juillet en moyenne calculée sur cinq ans ou, à défaut d'une série complète et continue de données annuelles sur cette période, calculée sur des données valides relevées pendant trois ans

**\* Climat**

L'ozone possède la propriété d'absorber dans l'infrarouge, ce qui en fait un gaz à « effet de serre » : une molécule d'ozone est environ 2000 fois plus absorbante vis à vis des infrarouges rayonnés par les sols qu'une molécule de gaz carbonique et il a été calculé que le doublement des concentrations d'ozone dans la troposphère pourrait accroître la température moyenne de l'air d'environ 1°C.

La part relative de l'ozone dans l'effet de serre additionnel, sur l'ensemble de la planète, est estimée à 18%.

**\* Autres effets**

La pollution photochimique accélère la dégradation des matériaux (notamment les plastiques).

**\* Mécanismes photochimiques**

L'ozone se forme naturellement dans l'air par combinaison d'un atome d'oxygène (O) avec une molécule d'oxygène (O<sub>2</sub>), en présence d'un troisième corps qui stabilise les produits de la réaction.

Dans la troposphère, l'atome d'oxygène nécessaire provient de la photodissociation du dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>. Le monoxyde d'azote formé réagit alors avec l'ozone pour reformer le dioxyde d'azote. La transformation de NO en NO<sub>2</sub> sans consommation d'ozone se produit en présence d'espèces radicalaire, telles que HO<sub>2</sub> (radical hydroperoxy) et RO<sub>2</sub> puissants oxydants du NO en NO<sub>2</sub> provenant de la dégradation de composés organiques.

Les radicaux générateurs d'ozone proviennent notamment de la dégradation dans l'air des composés organiques volatils (COV) sous l'effet d'un autre radical - le radical hydroxyle (OH) - lui-même formé à partir de l'ozone, de la vapeur d'eau et du rayonnement solaire.

L'action du radical hydroxyle OH sur les COV déclenche une chaîne complexe de réactions.

Il s'agit de processus dont le bilan peut conduire à la production de plusieurs molécules d'ozone à partir d'une seule molécule carbonée. La production d'ozone est toutefois limitée par diverses réactions consommatrices de radicaux et d'ozone.

**• Evolution de la chimie de l'atmosphère en fonction de la concentration des composés et des conditions météorologiques**

La chimie de l'atmosphère a un caractère non linéaire. La production d'ozone n'est pas proportionnelle aux teneurs en précurseurs. En effet, selon l'abondance relative des divers réactifs, ce sont des réactions de destruction ou de production d'ozone qui sont favorisées.

La production d'ozone est aussi très dépendante des conditions météorologiques (notamment de l'ensoleillement) et se produit au cours du transport des précurseurs par les vents.

## 5.11 Quelques conséquences de la pollution liée au trafic routier

### Pollution sensible :

La pollution de l'air peut devenir perceptible par nos sens, se traduisant alors par des mauvaises odeurs, une opacité de l'air et la salissure des bâtiments.

#### **- L'opacité de l'air**

La présence de particules dans l'air entraîne une opacité parce que du fait de leur taille elles interagissent avec les ondes lumineuses, perturbant leur propagation. L'opacité est la fraction de lumière qui est bloquée par un objet ou une substance, comme la fumée ou une vitre teintée. Elle est exprimée en pourcentage.

C'est le phénomène de « smog » : les gaz polluants en s'accumulant forment une sorte de brouillard, surtout dans les zones urbaines.

#### **- Les odeurs**

Les gaz d'échappement ont une odeur désagréable qui peut incommoder les riverains, notamment ceux émis par les véhicules diesel mal réglés ou lors des démarrages à froid.

#### **- Le noircissement des façades, évoqué ci après.**

### L'effet de serre :

L'accumulation de certains gaz, réfléchissant les ondes thermiques vers la terre, dans l'atmosphère provoque l'augmentation de la température de l'air. Les rejets anthropiques en très grandes quantités amplifient ce phénomène et peuvent conduire à des modifications importantes des climats.

L'effet de serre est évalué par la quantification des émissions de CO<sub>2</sub>. On considère en effet que l'estimation du CO<sub>2</sub> reflète bien les émissions totales de carbone vers l'atmosphère. Cette estimation inclut d'autres gaz qui sont précurseurs du CO<sub>2</sub>.

### Action sur les bâtiments :

Les polluants atmosphériques dégradent les matériaux par leur action chimique, surtout la pollution acide. Outre le noircissement des pierres et l'altération des façades, la pollution provoque la corrosion des toitures en zinc. Cet effet existe sur les bâtiments exposés directement et indirectement.

Plus précisément, les façades sont salies par des dépôts des suies et de particules provenant de l'usure de la chaussée, des freins ou des pneumatiques.

La corrosion des peintures et métaux (gouttières) est due aux NO<sub>x</sub> et SO<sub>2</sub>. Les pierres de construction sont attaquées par l'acidité.

Cela a pour conséquence de diminuer de la durée de vie des matériaux. On ne peut à l'heure actuelle estimer les coûts de nettoyage et restauration du bâti dus à la pollution.

**Polluants secondaires :**

Ils ont aussi un impact négatif sur la végétation : l'ozone, déjà évoqué ci-dessus, provoque des pertes de rendements des cultures et l'effet de serre bloque la croissance des végétaux. Ces polluants rentrent dans les plantes au niveau des stomates, lieux des échanges respiratoires. Ils empêchent le fonctionnement et détruisent les chloroplastes puis les cellules et les nervures. L'ozone a surtout un impact notable sur les forêts, hors il n'y en a pas d'importantes aux alentours du site.

Les pluies acides acidifient les sols entraîne un manque de calcium et de magnésium pour les plantes alors que ce sont des nutriments nécessaires à leur croissance.

## 5.12 Tableaux récapitulatifs des valeurs toxicologiques de références retenues (et pour les substances retenues) pour l'évaluation des risques sur la santé

COMPOSE	VOIE D'EXPOSITION	N° CAS	EFFETS A SEUIL		EFFETS SANS SEUIL	
			OBJECTIF DE QUALITE OU VALEUR TOXICOLOGIQUE DE REFERENCE	ORGANES CIBLE	VALEUR TOXICOLOGIQUE DE REFERENCE (EXCES DE RISQUE UNITAIRE)	ORGANES CIBLE
Dioxyde de soufre	inhalation	7446-09-5	Objectif de la qualité de l'air = 50 µg/m <sup>3</sup>	Système respiratoire	-	-
Dioxyde d'azote	inhalation	10102-44-0	Ligne directrice = 40 µg/m <sup>3</sup>	Système respiratoire	-	-
Monoxyde de carbone	inhalation	630-08-0	Valeur limite sur 8h = 10 mg/m <sup>3</sup> (1)	Système cardiovasculaire	-	-
Particules	inhalation	-	Ligne directrice = 20 µg/m <sup>3</sup>	Système respiratoire et cardiovasculaire	-	-
Benzène	inhalation	71-43-2	30 µg/m <sup>3</sup>	Système immunitaire	2,2.10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Système haematopoietic, Leucémies
Plomb	inhalation	7439-92-1	0,5 µg/m <sup>3</sup>	Système nerveux, cardio-vasculaire et développement	1,2.10 <sup>-5</sup> (µg/ m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Système nerveux, cardio-vasculaire et développement
	ingestion		0,0036 mg/kg.j	Cerveau, système nerveux central, système cardio-vasculaire	8,5.10 <sup>-3</sup> (mg/kg.j) <sup>-1</sup>	Rein
Cadmium	inhalation	7440-43-9	0,005 µg/m <sup>3</sup>	Rein	1,8.10 <sup>-3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Système respiratoire
	ingestion		0,001 mg/kg.j	Reins	-	-
Nickel	inhalation	7440-02-0	9,0.10 <sup>-2</sup> µg/m <sup>3</sup>	Système respiratoire	2,4.10 <sup>-4</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Système respiratoire
	ingestion		2.10 <sup>-2</sup> mg/kg.j	Développement	-	-

(1) Attention, cette valeur ne correspond pas à une Valeur Toxicologique de Référence. L'indice de risque calculé ne pourra pas être utilisé directement comme une quantification des effets sur la santé.

## 6 QUANTIFICATION DES EMISSIONS

Ces émissions proviennent du trafic routier.

La quantification des émissions est réalisée à l'aide du modèle IMPACT développé par l'ADEME à partir des **trafics sur les axes routiers directement impactés** par le projet.

Afin de quantifier la pollution ajoutée (et donc le risque supplémentaire) par le projet, nous avons étudié **la situation de trafic prévue en 2013 avec l'aménagement et le renouvellement du centre de Bondues.**

### 6.1 Données sur le parc automobile

En matière de pollution atmosphérique automobile, les progrès des motoristes et des raffineurs permettent de limiter, année après année, les émissions de polluants par km parcouru.

**La répartition du parc automobile est estimée par Impact-ADEME :**

Type de véhicules			Répartition en %
			2013
<b>Voitures particulières</b>	Diesel		67
	Essence		33
<b>Véhicules utilitaires légers</b>	Diesel		99,7
	Essence		0,3
<b>Poids lourds</b>	Diesel	< 16 t	6,3
		> 16 t	93,7
<b>Bus urbains</b>	Diesel		100
<b>Autocars</b>	Diesel		100

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## 6.2 Données sur le trafic

Les émissions de polluants sont quantifiées :

- Pour les axes impactés par le projet: N17, RD64, RD654 et voies de desserte du projet,
- sur la base des TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) dans la mesure où nous nous intéressons, dans le cadre de l'étude, à l'exposition chronique des riverains et donc à des expositions sur le long terme (vie entière),
- sur la base d'un découpage des brins routiers (avec les vitesses de véhicules estimées en fonction des aménagements).

Les trafics routiers à terme (2013) utilisés pour la modélisation nous ont été transmis par la LMCU.

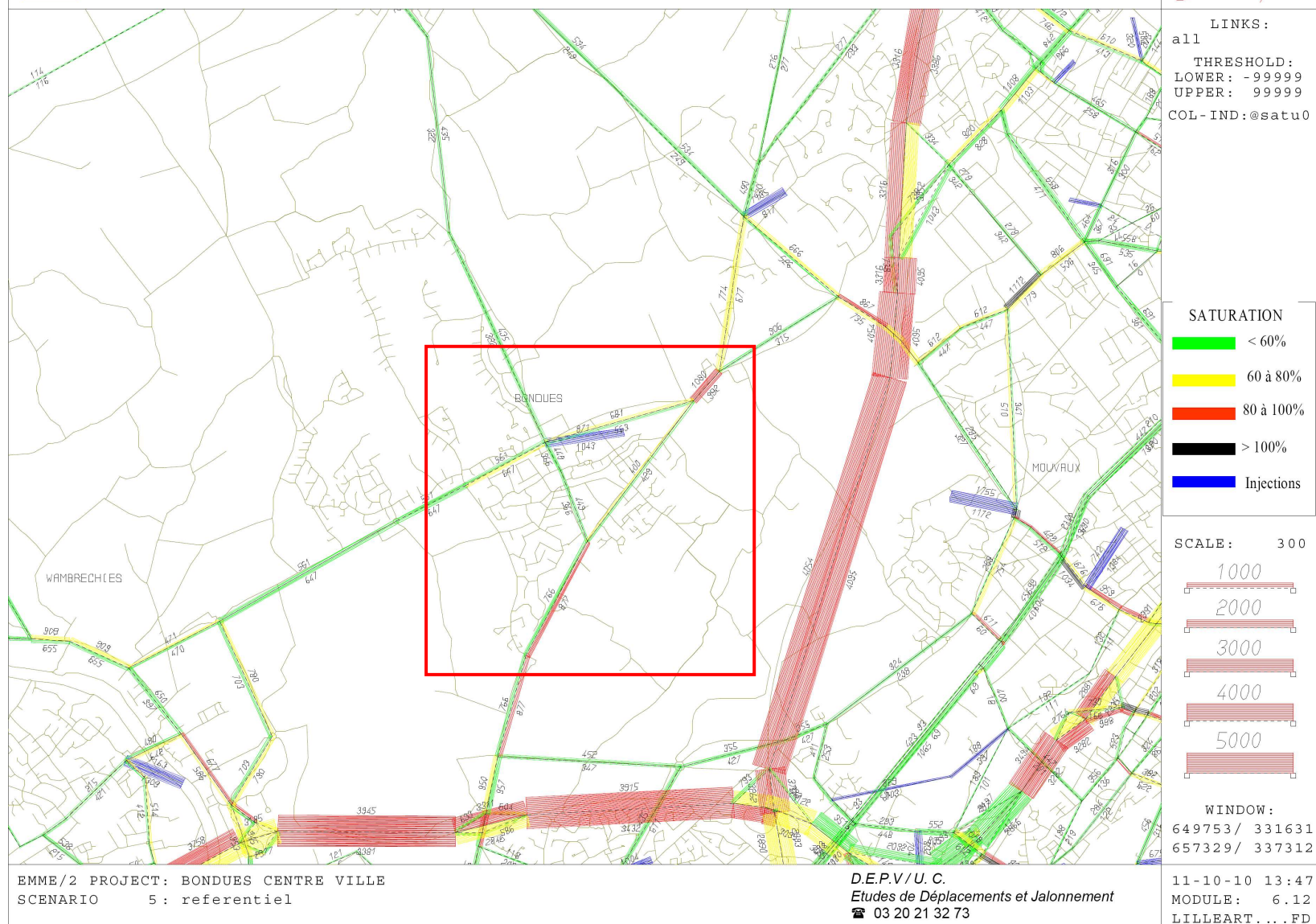
Les résultats de l'étude trafic sont ci-après :

- trafics actuels: **situation actuelle**,
- trafics prévisionnels : **situation future**.

Nota : nous n'intégrons pas à l'étude les axes routiers dont les trafics ne sont pas renseignés dans l'étude trafic.

Bondues:  
Réseau 2011, volumes et saturation matrice 2011 (HPS)

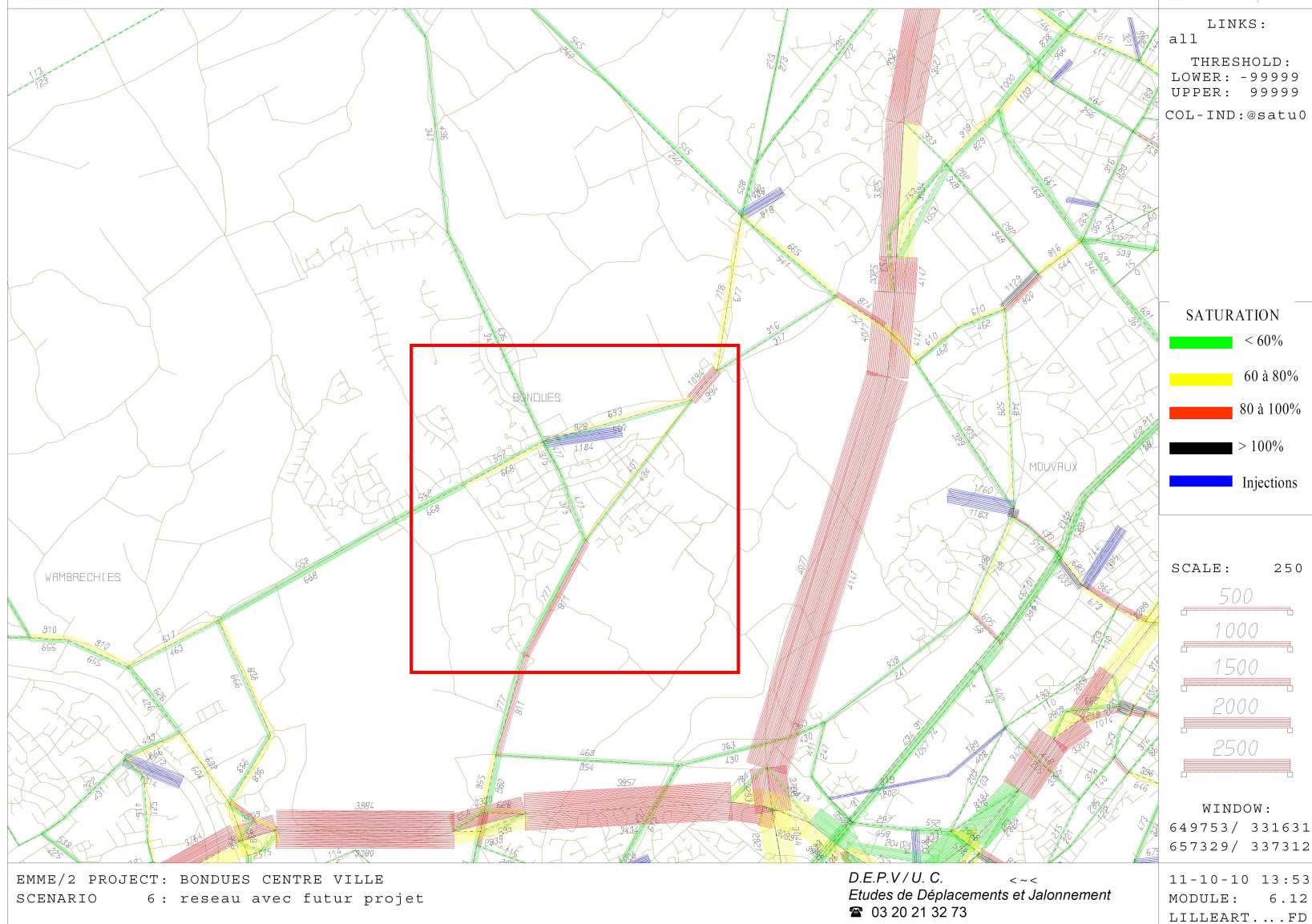
emme/2





Bondues:  
Réseau 2011 avec nouvelle injection trafic, volumes et saturation matrice projet (HPS)

emme/2



**Commentaire sur les données de trafic :**

Il n'existe pas de données de trafic pour chacune des voies de dessertes comprises dans le triangle dessiné par la N17 (avenue du Général De Gaulle), la D64 (rue du Bosquiel) et la D654 (avenue de Wambrechies), mais des données d'ensemble dénommées injection. Aussi, nous avons considéré que l'ensemble des rejets liés au trafic dans cette zone dans la situation actuelle était émis par la voie dénommée h (voir carte ci dessous) et que les émissions futures étaient réparties sur les 2 futurs axes dénommés i et j (voir carte ci dessous) en fonction de la longueur de chaque brin.

**Hypothèses pour la détermination des TMJA**

L'étude trafic réalisée par la LMCU renseigne les trafics des véhicules en Heure de Pointe.

Pour l'étude de risque sanitaire, l'objectif est de caractériser l'exposition chronique des populations. Pour cela, il est nécessaire de connaître le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) sur les zones étudiées afin de quantifier les émissions moyennes émises. Ainsi, la modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants permet d'obtenir des concentrations en moyenne annuelle que nous pouvons comparer aux Valeurs Toxicologiques de Référence pour l'exposition chronique.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

A partir des données de l'étude trafic réalisée par la LMCU, nous avons retenu l'hypothèse proposée par le *Guide du Bruit des Transports Terrestres – Prédiction des niveaux sonores* établi par le Ministère de l'Environnement et du Cadre de vie et du Ministère des Transports, 1980 :

$$TMJA = 10 \times HP$$

Avec :

HP : Heure de Pointe indiquée dans l'étude trafic

Nous avons considéré, dans le cadre d'une démarche pénalisante, d'estimer le TMJA à partir du trafic de l'heure de pointe.

#### Poids lourds :

La part de poids lourds estimé représente 3 à 5% (données LMCU). Dans le cadre d'une démarche majorante, nous retiendrons pour le reste de l'étude une part de poids lourds de 5%.

#### Vitesse de circulation des véhicules sur les axes:

Pour chacune des situations étudiées, nous avons considéré les vitesses suivantes :

- 50 km/h sur la RD654 (soit les brins a et b), la RD64 (soit les brins c et d), N17 (soit les brins e, f et g),
- 30 km/h sur les voies de desserte du triangle De Gaulle/Bosquiel (soit le brin h).
- 30 km/h sur les voies du projet (soit les brins i et j).

#### Circulation sur le parking souterrains:

Afin d'intégrer à l'étude les émissions liées à la circulation des véhicules dans le parking souterrain, voici les hypothèses retenues :

- trafic moyen de 1148 véhicules / jour (ce chiffre a été déterminé en fonction du nombre de places de parking, soit 287 places, et prenant en compte 2 allers-retours par place)
- distance moyenne parcourue par véhicule = 290 m (distance pour se garer et repartir).

Remarque : La distance moyenne parcourue par un véhicule a été calculée en prenant en compte la distance maximale du parking.

Le logiciel IMPACT de l'ADEME prend en compte les surémissions dues au démarrage à froid, un véhicule chaud n'émettant pas les mêmes quantités de polluants qu'un véhicule à froid. Un facteur d'émission à froid est ainsi affecté à la conduite urbaine pour laquelle la vitesse est inférieure à 50 km/h, c'est-à-dire qu'il prend en compte les surémissions dues aux démarrages à froid. Un facteur d'émission de 50% a été considéré, c'est-à-dire qu'il a été fait l'hypothèse que le nombre de véhicules entrant et sortant du parking se compensent car la moitié d'entre eux arrivent (moteur chaud) et l'autre moitié sort (moteur froid).

De plus, les émissions produites par un véhicule circulant dans un parking à faible vitesse (ici 20 km/h) sont plus élevées que celles produites par un véhicule roulant à au moins 50 km/h.

### 6.3 Calcul des quantités de polluant émises

Axes routiers	Nombre de véhicules (TMJA)	Nombre de Véhicules légers (TMJA)	Nombre de Poids lourds (TMJA)	Quantification des émissions des différents polluants étudiés							
				CO (kg/jour)	NO <sub>x</sub> (kg/jour)	Particules (g/jour)	SO <sub>2</sub> (g/jour)	Plomb (mg/jour)	Cadmium (mg/jour)	Nickel (mg/jour)	Benzène (g/jour)
<b>a</b>	12200	11590	610	3,96585	4,66398	196,81	43,79	341,11	5,47	38,32	8,14224
<b>b</b>	12530	11904	627	5,21608	6,13606	258,86	57,6	448,62	7,2	50,4	10,71
<b>c</b>	7770	7382	389	1,92544	2,26484	95,56	21,26	165,6	2,66	18,61	3,95282
<b>d</b>	8520	8094	426	2,41495	2,84007	119,84	26,67	207,72	3,33	23,33	4,95811
<b>e</b>	16880	16036	844	5,68793	6,6892	282,27	62,81	489,23	7,85	54,95	11,68
<b>f</b>	8350	7933	418	4,00587	4,71192	198,81	44,24	344,53	5,53	38,71	8,22385
<b>g</b>	20880	19836	1044	1,86241	2,19026	92,42	20,56	160,19	2,57	17,99	3,82369
<b>h</b>	19140	18183	957	9,99855	7,25491	378,05	67,31	581,81	8,41	58,9	15,36
<b>i</b>	1170	1112	59	0,38791	0,2819	14,68	2,61485	22,56	0,32686	2,29	0,59561
<b>j</b>	810	770	41	0,18599	0,13526	7,03796	1,25445	10,82	0,15681	1,1	0,28554
<b>parking souterrain</b>	1148	1148	0	0,68176	0,21051	18,96	2,15225	25,52	0,26903	1,88	1,69439

## 7 MODELISATION STATISTIQUE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE ET EVALUATION QUANTIFIEE DU RISQUE SANITAIRE

Nous avons étudié l'impact du projet sur la pollution atmosphérique due au trafic routier.

Les données de trafic et les émissions respectives ont été intégrées au logiciel de dispersion ARIA Impact.

### 7.1 Présentation du code général utilisé

Le modèle utilisé pour cette analyse statistique est le logiciel ARIA Impact. 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. Compte tenu des durées d'exposition, nous n'avons pas considéré les transformations photochimiques des polluants.

### 7.2 Description des conditions météorologiques

La météorologie locale est un paramètre déterminant pour la dispersion des polluants dans l'air. Le vent est le vecteur de la pollution et la turbulence atmosphérique est à l'origine du processus de diffusion.

Les données météorologiques les plus importantes pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont :

- la direction du vent,
- la vitesse du vent,
- la température extérieure,
- la stabilité de l'atmosphère.

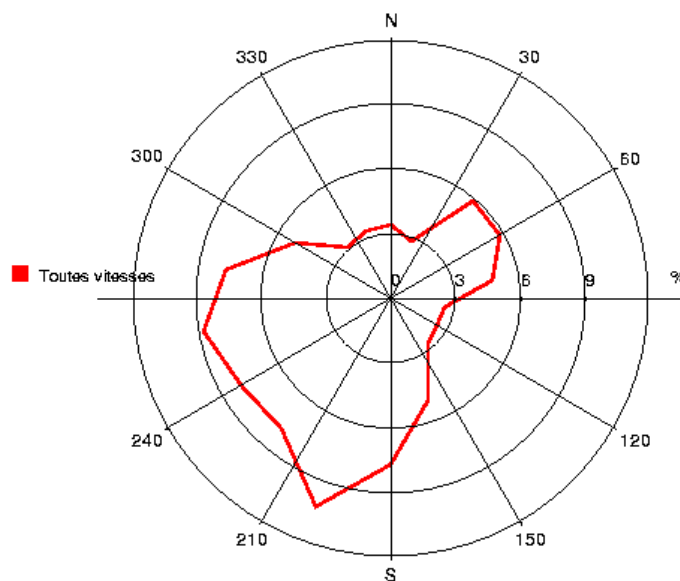
La stabilité de l'atmosphère est le paramètre le plus complexe à connaître car, dans la majorité des cas, elle n'est pas mesurée. Ce paramètre destiné à quantifier les propriétés diffusives de l'air dans les basses couches, conduit à distinguer 6 catégories de stabilité de l'atmosphère.

Classe A : Très fortement instable	Dans de telles situations, la dispersion des polluants est facilitée. Ces situations apparaissent par fort réchauffement du sol. Elles se retrouvent principalement le jour en absence de vent fort.
Classe B : Très instable	
Classe C : Instable	
Classe D : Neutre	Ces situations permettent la dispersion des polluants. Elles correspondent aux situations de vents modérés ou à des situations de ciel couvert. Il s'agit de la situation la plus fréquente en zone tempérée.
Classe E : Stable	De telles situations freinent le déplacement des masses d'air. Elles sont induites par des inversions thermiques près du sol, ce qui limite la dispersion des polluants. Ces situations se retrouvent principalement la nuit par vent faible.
Classe F : Très stable	

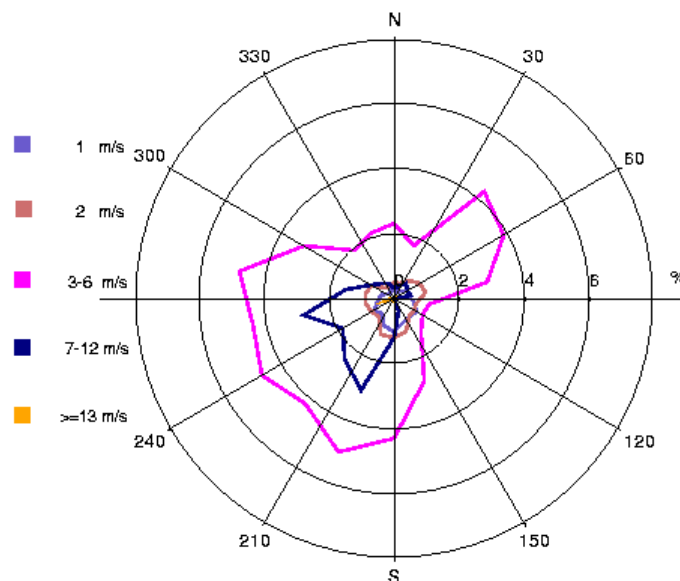
Ces classes de stabilité sont déterminées à partir de la vitesse du vent et de la nébulosité. Ces paramètres, variables dans le temps et dans l'espace, résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence 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, et représentatives de la climatologie du site.

Les données que nous avons utilisées proviennent de la station météorologique Météo-France de Lille (Station de Lesquin) pour la direction, la vitesse du vent, la température et la nébulosité. Il s'agit de mesures tri-horaires couvrant une période de 3 années : du 1er janvier 2000 au 31 décembre 2004. Une chronique de 5 années est suffisamment longue pour mettre en évidence le comportement climatique de la région (durée minimale recommandée par l'US EPA).

Les figures ci-dessous présentent les roses des vents établies par le logiciel ARIA Impact à partir des données météorologiques. Les intersections des courbes avec les cercles d'isofréquence indiquent les fréquences d'apparition des vents en fonction de leur direction.



**Rose des vents générale de la station de Lesquin**

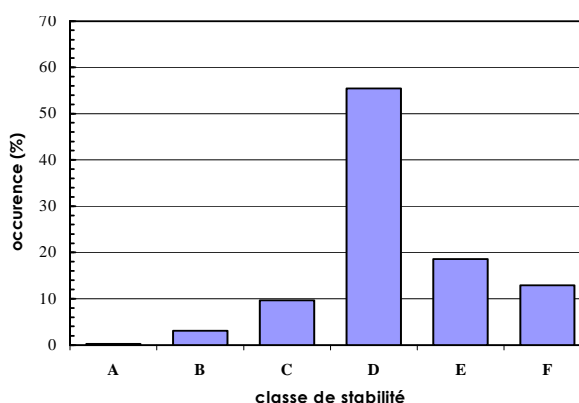


**Rose des vents de la station de Lesquin par classe de vitesse**

Les principaux résultats de l'analyse de ces figures sont les suivants :

- La rose des vents générale présente une direction prédominante de Vents du Sud à Ouest (180° - 280°). Cette direction représente 50,5 % de s observations,
- Les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 3 et 6 m/s (55,9 % des occurrences),
- Les vents forts, de vitesse supérieure à 7 m/s, représentent 17,8 % des occurrences ; les vents de vitesses supérieures à 13 m/s sont relativement rares (0,5 % des occurrences).

Par ailleurs, les conditions de dispersion sont plutôt favorables, 55,47 % des observations présentant une atmosphère neutre (la répartition des classes de stabilité est présentée ci-dessous). De plus, la vitesse moyenne du vent (toutes classes confondues) est de 4,25 m/s soit 15,3 km/h et le pourcentage de vents calmes (< 0,9 m/s) est faible (2,6 %).



### 7.3 Résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique

Le tableau ci-après les résultats de modélisation. Ceux-ci sont exprimés en :

- **concentration moyenne annuelle** en polluant dans l'air au niveau du sol (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour tous les composés,
- **dépôt sec moyen annuel** au sol (en  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ ) pour les composés sous forme particulaire (métaux).

Toutes ces concentrations et dépôts modélisés sont attribuables uniquement au trafic routier des zones étudiées et ne doivent pas être confondues avec les concentrations réelles auxquelles sont exposées les populations, et qui intègrent le bruit de fond.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

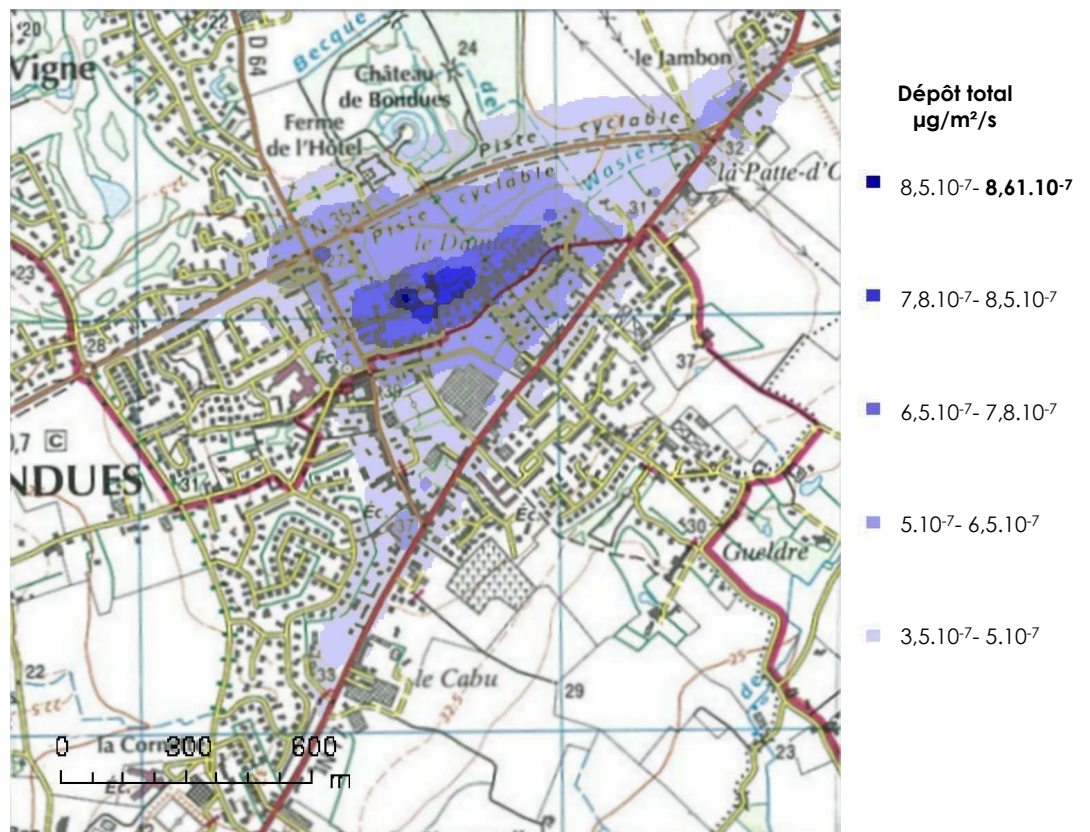
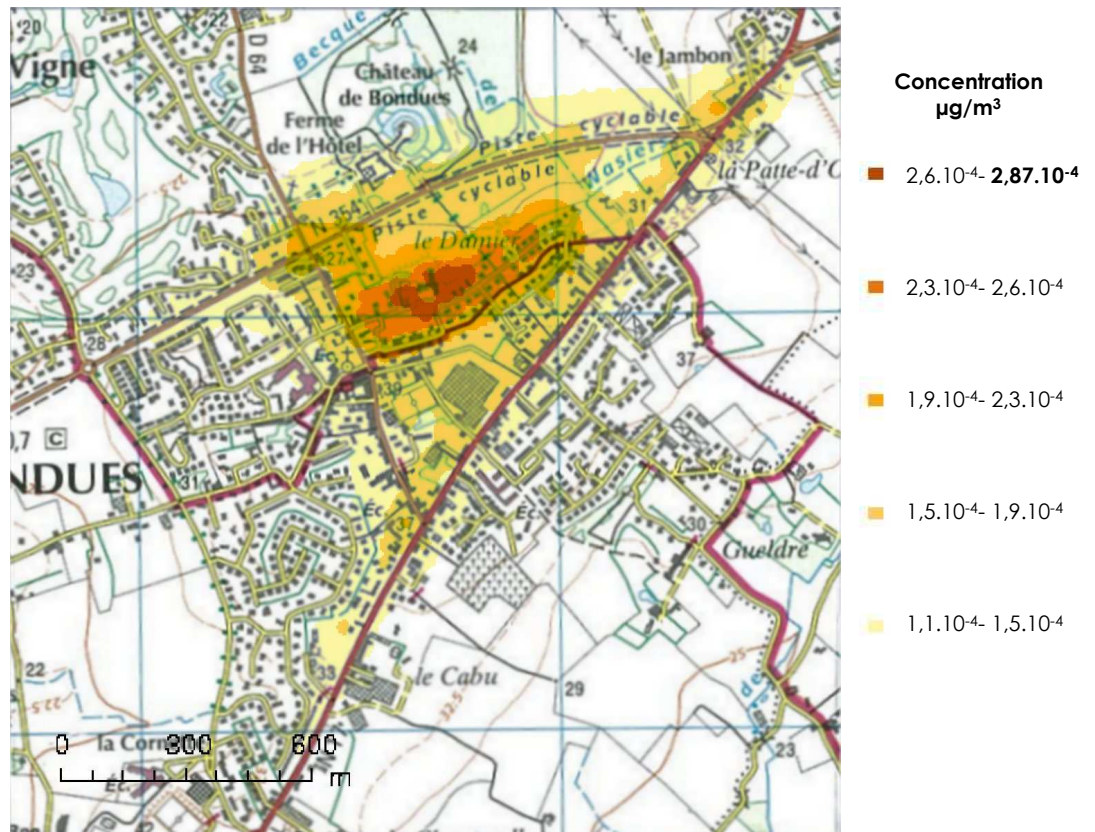
Polluants	Concentration en moyenne annuelle au point le plus pénalisant ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dépôt sec moyen annuel au point le plus pénalisant ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )
<b>SO<sub>2</sub></b>	$3,11.10^{-2}$	
<b>NO<sub>x</sub></b> assimilés de façon pénalisante au NO <sub>2</sub>	3,78	
<b>CO</b>	4,52	
<b>Poussières</b>	$1,68.10^{-1}$	
<b>Benzène</b>	$7,67.10^{-3}$	
<b>Plomb</b>	$2,87.10^{-4}$	$8,61.10^{-7}$
<b>Cadmium</b>	$4,24.10^{-6}$	$1,91.10^{-8}$
<b>Nickel</b>	$2,97.10^{-5}$	$1,34.10^{-7}$

Les cartes suivantes montrent la répartition des concentrations et dépôts secs de polluants en moyenne annuelle pour chaque polluant.

Ces résultats ne concernent que la contribution des rejets provenant des zones étudiées. Les cartes sont constituées de zones colorées représentant chacune un intervalle de concentration ou dépôts. Les valeurs indiquées en gras sont les valeurs maximales atteintes sur le domaine d'étude.

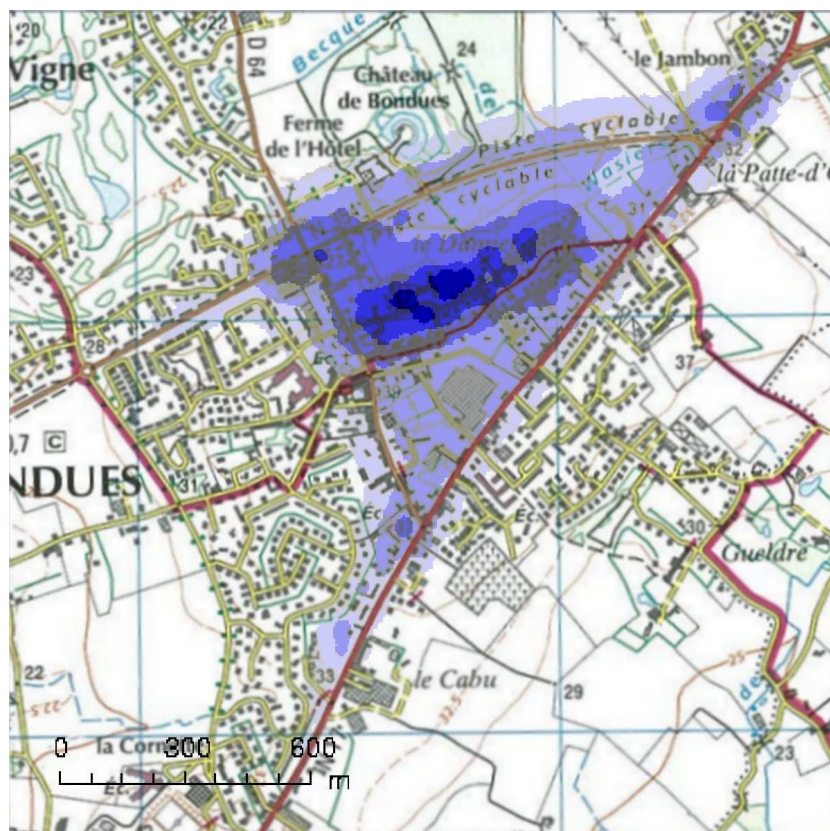
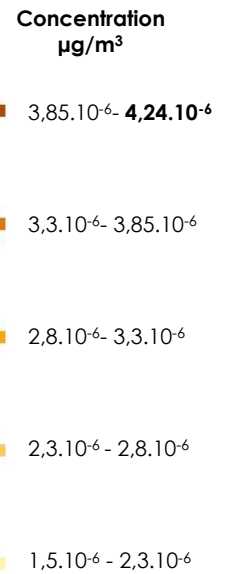
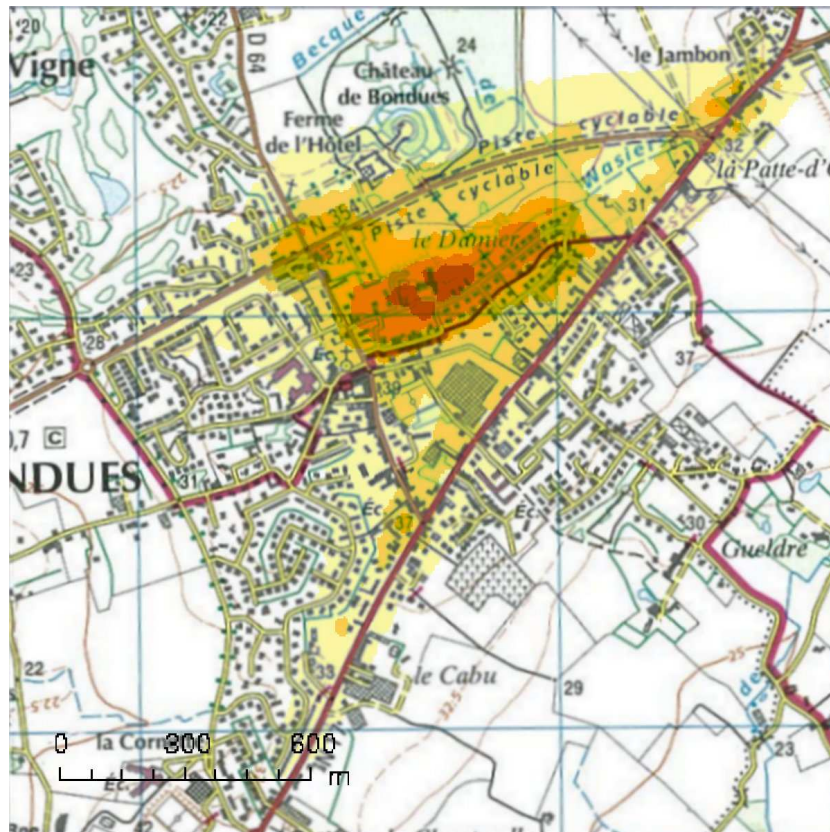


### Plomb (Pb)





### Cadmium (Cd)

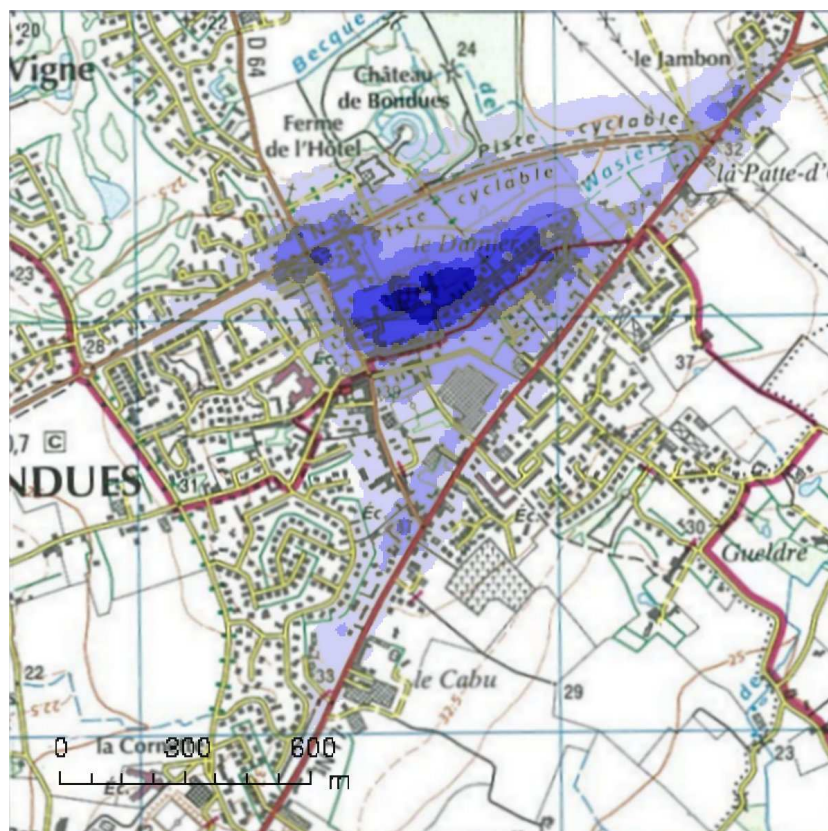




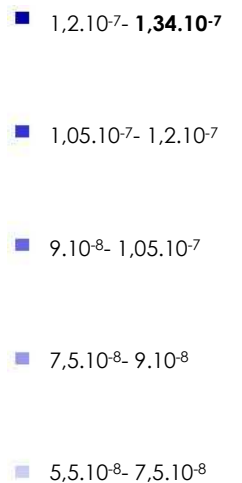
### Nickel (Ni)



Concentration  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

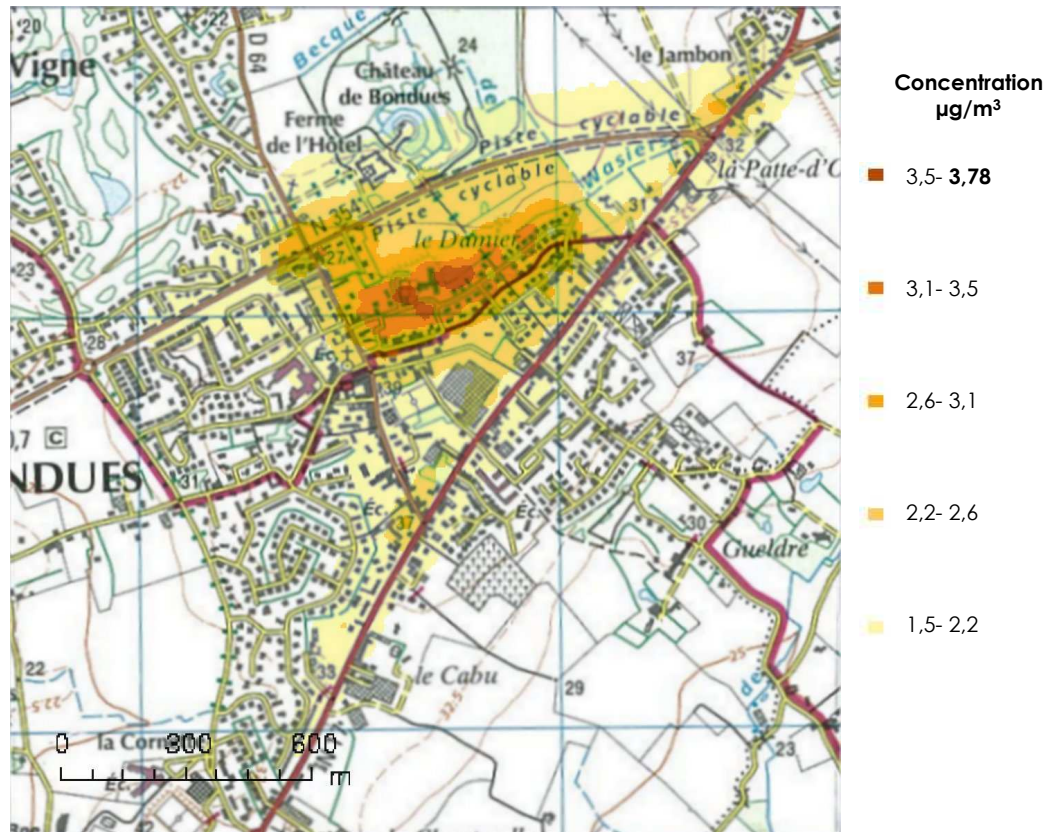


Dépôt total  
 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$

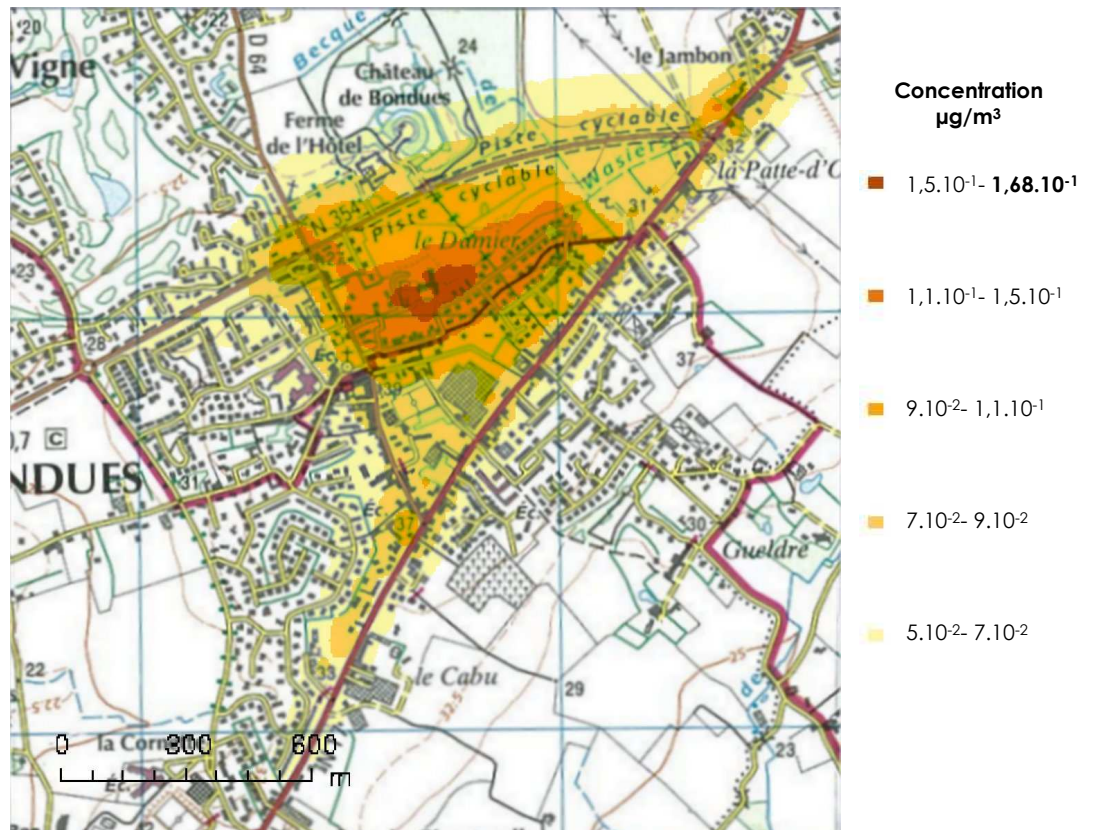




### Oxydes d'azote (NOx)

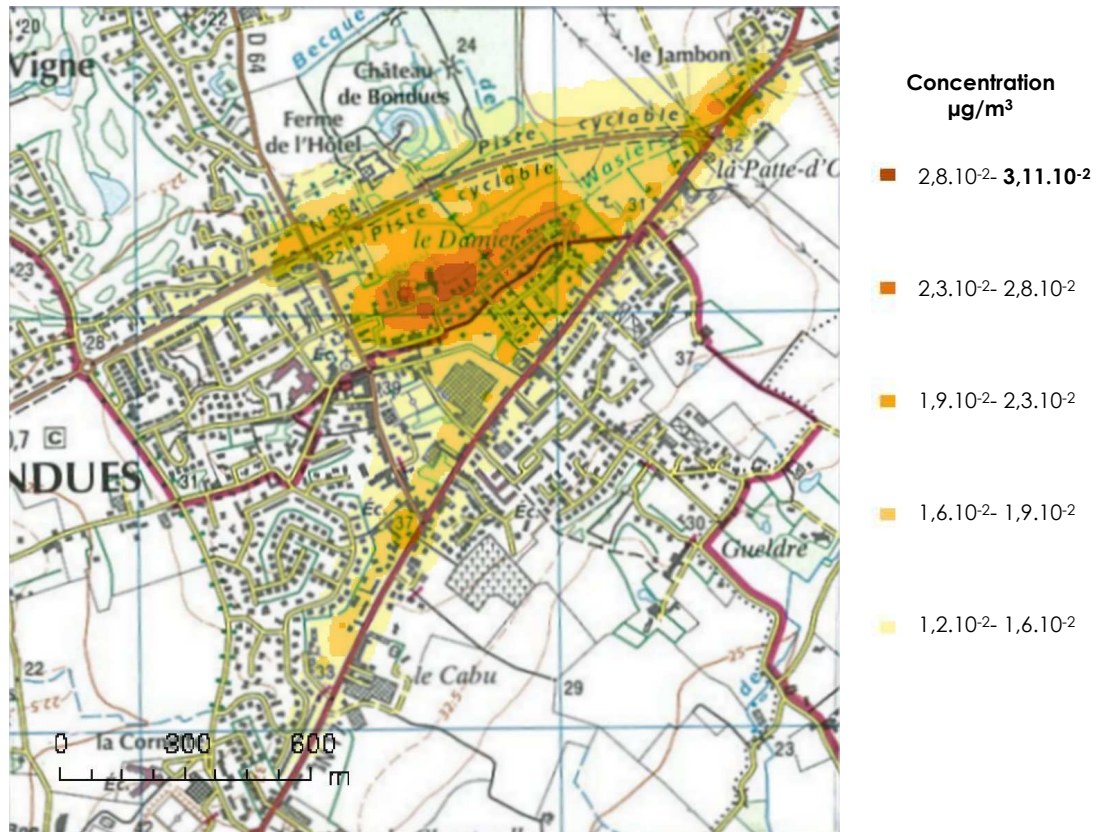


### Poussières (Ps)

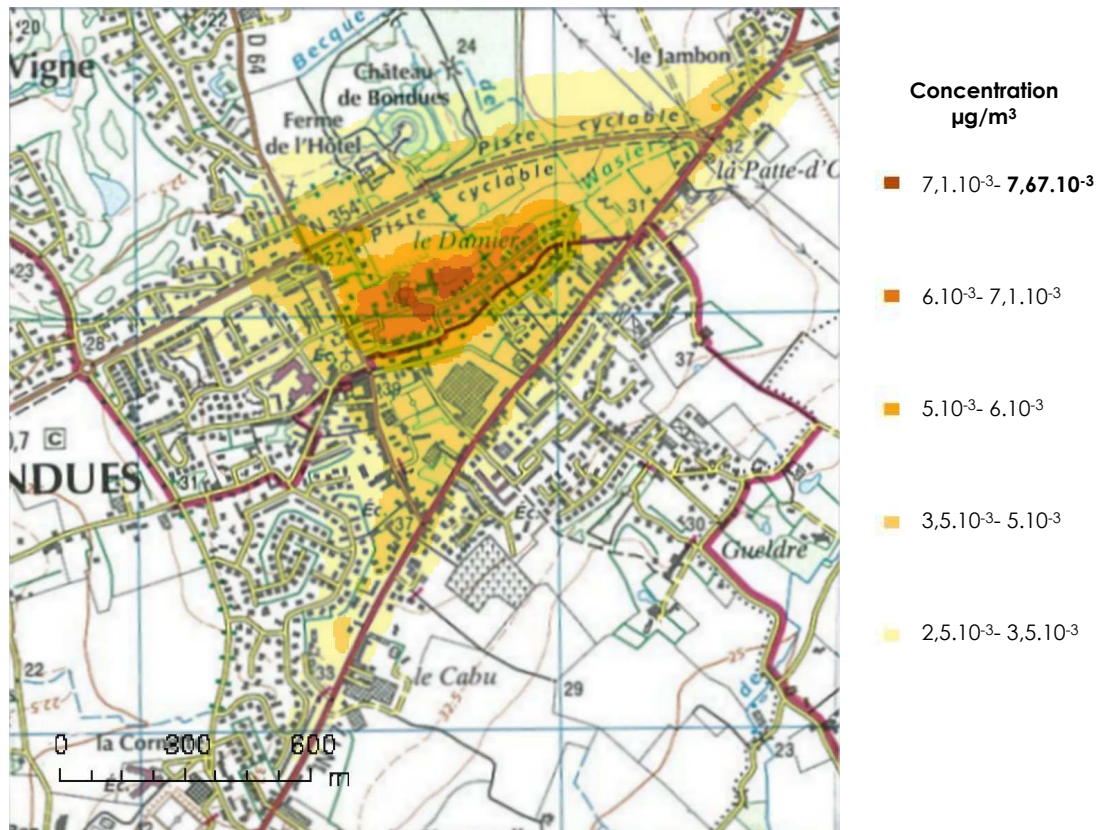




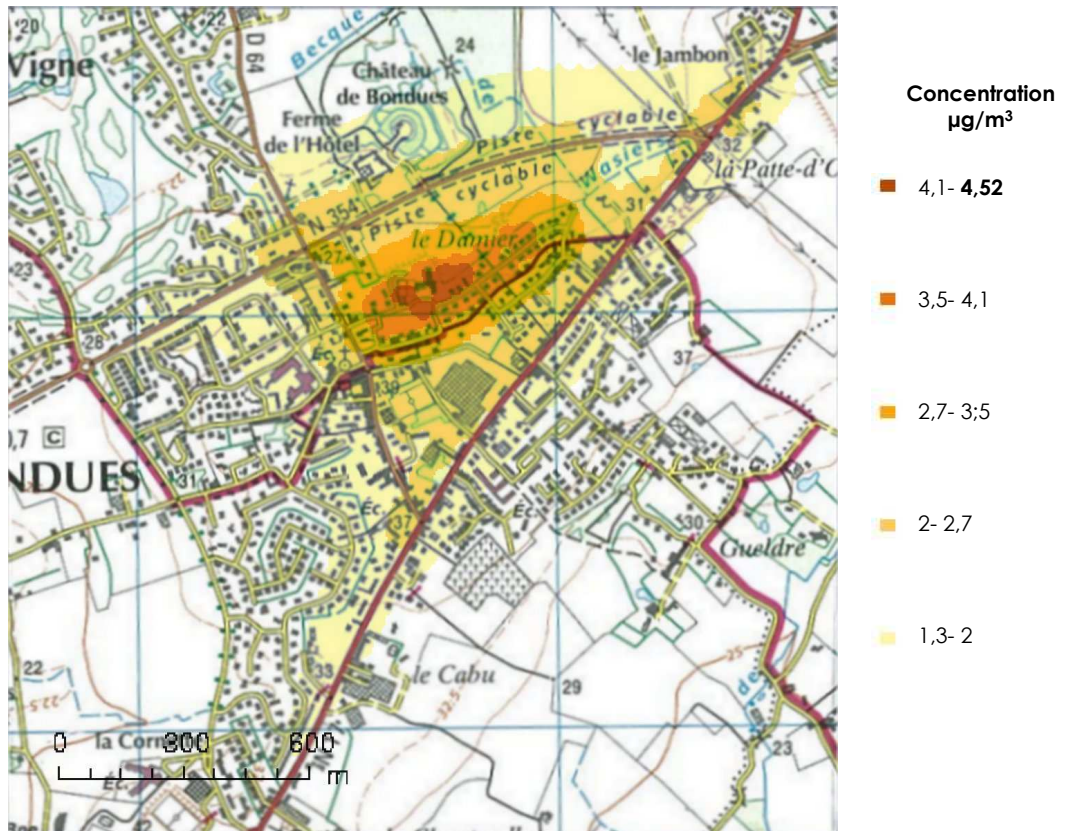
### Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)



### Benzène



### **Monoxyde de carbone (CO)**



Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## 7.4 Caractérisation du risque sanitaire

Tous les polluants pris en compte dans cette étude sont concernés par l'exposition (directe) des populations par inhalation.

En revanche, ils ne sont pas tous concernés par une exposition par ingestion : seuls les métaux (Ni, Pb, Cd) sont concernés étant donné qu'ils sont bio-accumulables et qu'ils sont susceptibles d'être ingérés par les riverains du projet qui consommeraient des légumes et de la viande dans lesquels les métaux peuvent s'accumuler.

### 7.4.1 Caractérisation du risque pour l'exposition par inhalation

Afin de quantifier le risque par inhalation, nous avons calculé :

- Pour les effets à seuil : des indices de risque.**  
 Ces indices de risque sont calculés en comparant la concentration de polluant modélisée au point le plus pénalisant (concentration en moyenne annuelle) à la Valeur Toxicologique de Référence.  
**La recommandation des autorités sanitaires est de ne pas dépasser un indice de risque de 1.**
- Pour les effets sans seuil : des Excès de Risque Individuel (ERI).**  
 Les Excès de Risque Individuel sont calculés en multipliant la concentration de polluant modélisée au point le plus pénalisant (concentration en moyenne annuelle) à l'Excès de Risque Unitaire.  
**Les recommandations des autorités sanitaires est de ne pas dépasser un Excès de Risque Individuel de  $10^{-5}$  (recommandation de l'OMS, Circulaire du 10 Décembre 1999).**

Nota : L'Excès de Risque Individuel est la probabilité d'occurrence que la personne exposée a de développer l'effet associé à une substance cancérigène pendant sa vie du fait de l'exposition considérée.

Remarque : La démarche utilisée est pénalisante (démarche protectrice pour la santé) dans la mesure où les valeurs retenues sont les maxima sur l'ensemble de l'aire d'étude.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

### **Effets à seuil :**

Polluants	Concentration en moyenne annuelle maximale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valeur toxicologique de référence pour l'inhalation ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Indice de risque
SO <sub>2</sub>	$3,11.10^{-2}$	50	$6,23.10^{-4}$
NO <sub>x</sub> assimilés de façon pénalisante au NO <sub>2</sub>	3,78	40	$9,44.10^{-2}$
CO	4,52	En l'absence de VTR, valeur limite donnée pour mémoire = 10 000	-
Poussières	$1,68.10^{-1}$	20	$8,38.10^{-3}$
Benzène	$7,67.10^{-3}$	30	$2,56.10^{-4}$
Plomb	$2,87.10^{-4}$	0,5	$5,74.10^{-4}$
Cadmium	$4,24.10^{-6}$	$5.10^{-3}$	$8,48.10^{-4}$
Nickel	$2,97.10^{-5}$	$9,0.10^{-2}$	$3,3.10^{-4}$
<b>Indice de Risque total pour l'exposition par inhalation</b>			<b><math>1,05.10^{-1}</math></b>

Pour mémoire, la concentration moyenne annuelle modélisée au point le plus défavorable est environ 2000 fois inférieure à la valeur limite pour le CO (sur 8h).

**Les indices de risque obtenus pour chacun des composés traceurs pour une exposition chronique par inhalation sont inférieurs à 1**, l'indice de risque le plus important étant obtenu pour le NO<sub>x</sub> avec une valeur de  $9,44.10^{-2}$ .

D'après le guide méthodologique de l'INERIS, lorsque cet indice est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable selon les approximations utilisées pour le calcul des VTR ; cela reste vrai même pour les populations sensibles du fait des facteurs de sécurité adoptés.

Ces formules s'appliquent à chaque substance prise individuellement et pour le seul effet critique, et ne renseignent pas sur l'effet résultant de l'exposition à un mélange de substances. Les connaissances dans ce domaine sont extrêmement limitées et, même si l'on a décrit de manière qualitative des possibilités d'effets additifs, antagonistes ou synergiques, on ne dispose pas de règle générale de prise en compte des effets combinés.

Nous avons par conséquent adopté la démarche préconisée par l'INERIS qui consiste à additionner les indices de risque se rapportant aux mêmes effets toxiques et concernant le même organe. Cela nécessite donc de connaître les indices de risque liés à une exposition par ingestion (☞ Voir § 7.4.2.) L'addition des différents indices de risque est présentée au paragraphe 7.4.3.-Risque global.



Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

### **Effets sans seuil :**

Polluants	Concentration en moyenne annuelle maximale (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Excès de Risque Unitaire en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	Excès de Risque Individuel
<b>Benzène</b>	$7,67 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$1,69 \cdot 10^{-8}$
<b>Plomb</b>	$2,87 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,44 \cdot 10^{-9}$
<b>Cadmium</b>	$4,24 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$7,63 \cdot 10^{-9}$
<b>Nickel</b>	$2,97 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$7,12 \cdot 10^{-9}$
<b><i>Excès de risque individuel total pour l'exposition par inhalation</i></b>			<b><math>3,51 \cdot 10^{-8}</math></b>

**Les excès de risque individuels obtenus pour chacune des substances prises individuellement sont inférieurs à la valeur repère fixée par l'OMS de  $10^{-5}$ .**

L'Excès de Risque Individuel le plus important pour l'inhalation est obtenu pour le benzène avec une valeur de  $1,69 \cdot 10^{-8}$ .

Comme pour le risque lié aux effets avec seuil, nous avons adopté la démarche majorante préconisée par l'INERIS qui consiste à additionner les ERI obtenus pour les différentes substances et voies d'exposition (la différence avec les effets systémiques est que l'addition se fait indépendamment des organes cibles). Cela nécessite donc de connaître les indices de risque liés à une exposition par ingestion (☞ Voir § 7.4.2.) L'addition des différents indices de risque est présentée au paragraphe 7.4.3.-Risque global.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

#### 7.4.2 Caractérisation du risque pour l'exposition par ingestion

Ce risque concerne le dépôt de polluants particuliers (plomb, cadmium, nickel). Le retour d'expérience montre que le dépôt se fait au voisinage immédiat des voies de circulation.

En bord de route, les cultures maraîchères, fruitières et fourragères sont les plus exposées et présentent plus de risque de transfert vers l'animal et l'homme, les céréales étant relativement protégées par leur enveloppe. Ceci pourrait notamment être préoccupant dès lors que l'on est en présence de jardins ouvriers, de cultures maraîchères ou en milieu périurbain.

Nous avons, afin de vérifier la contribution de cette voie d'exposition sur l'exposition des riverains, réalisé un calcul de remontée de chaîne alimentaire pour les substances bioaccumulables étudiées (plomb, cadmium et nickel).

Il n'y a pas de périmètre de protection de captage pour l'alimentation en eau potable à proximité immédiate du projet : l'impact du projet sur le risque de contamination par la consommation d'eau a donc été considérée négligeable.

##### • Introduction

La méthodologie suivie est issue de la documentation de la méthode présentée par l'EPA pour réaliser une évaluation du risque pour les installations de combustion de déchets dangereux : *Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, September 2005*.

Nous utilisons également les travaux du Groupe Radioécologie Nord Cotentin : *Modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement* (Groupe de travail n°3, 1999) et l'adaptation de ce modèle de transfert GT3-GRNC dans un écosystème agricole aux polluants inorganiques non radioactifs (2001), tel que l'a fait l'INERIS dans le rapport sur les Grandes Installations de Combustion (rapport de juin 2003 et rapport de mise à jour de décembre 2004).

Le logiciel de modélisation de la dispersion des polluants permet de modéliser les retombées au sol : dans le cas présent, modélisation des dépôts secs uniquement (dépôt gravitaire des particules).

Les principales voies d'exposition par ingestion sont les suivantes :

- Ingestion directe de sol en particulier chez les enfants (jeux à l'extérieur,...),
- Ingestion indirecte via les légumes et les fruits,
- Ingestion indirecte via les produits animaux (viande, lait, œufs,...). La contamination des animaux provient de l'ingestion directe de sol (pâturage) et de la contamination des végétaux.

Il n'est pas réaliste (exposition non représentative de l'exposition de la population) de cumuler ces 3 voies d'exposition dans la zone de retombées maximales. Cependant, c'est ce que nous avons réalisé en première approche afin de s'assurer que cette voie d'exposition est marginale.

Nous considérons une durée d'exposition pendant la vie entière (70 ans).

☞ **Nous avons retenu un scénario d'exposition très pénalisant et irréaliste : cas d'un individu (enfant et adulte) vivant en autarcie alimentaire complète (et ingestion directe de sol, particulièrement pour les enfants) dans la zone de retombées maximales. C'est à dire que la totalité des fruits, des légumes et des produits d'origine animale consommés sont supposés provenir de cette zone.**

- **Contamination des sols (dans la zone de retombées maximale)**

Pour le calcul des concentrations des traceurs du risque dans le sol, résultant d'un dépôt en surface, nous ferons l'hypothèse que les métaux se déposent sur le sol avec le même flux annuel, et qu'il ne se produit aucune élimination de ces métaux par ruissellement ou par lixiviation ou tout autre phénomène. Les polluants s'accumulent et restent donc en surface du sol. Cette approche est pénalisante pour la concentration dans les premiers centimètres de sol et minorante pour les transferts vers les nappes souterraines.

A partir de cette hypothèse, il est possible de calculer les concentrations dans le sol, attribuables aux rejets atmosphériques du site au bout de 70 ans d'émission de ces polluants. C'est également la période de temps sur laquelle, l'exposition prise en compte pour le calcul de l'exposition aux substances cancérigènes, est moyennée.

**Il convient donc de préciser que cette méthode est très majorante puisque les calculs de remontée dans la chaîne alimentaire sont réalisés à partir des dépôts accumulés pendant 70 ans dans le sol (alors que la première année, le dépôt est égal à D, la deuxième année, il est égal à 2D,... et la 70<sup>ème</sup> année uniquement, il est égal à 70D).**

Pour les calculs, nous prendrons une densité de sol sec standard égale à : 1,3 kg/dm<sup>3</sup> (c'est-à-dire 1,3 tonnes/m<sup>3</sup>).

Les concentrations dans le sol ont été calculées :

- Dans la couche superficielle de 1 cm d'épaisseur pour le calcul d'exposition par ingestion de poussières.
- Dans la couche superficielle de 10 cm d'épaisseur (préconisation de l'INERIS dans sa *Mise à jour de l'étude d'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion*) pour calculer la contamination de l'herbe de pâturage par le sol (ainsi que l'ingestion de terre par les animaux).
- Dans la couche superficielle de 20 cm d'épaisseur, dans laquelle sont cultivés les végétaux destinés en particulier à l'alimentation humaine (labourage).

Les vitesses de dépôts secs par unité de surface modélisées sont présentées dans le tableau suivant :

Substance	Dépôt sec modélisé dans la zone de retombées maximale (µg/m <sup>2</sup> .s)
Plomb	8,61.10 <sup>-7</sup>
Cadmium	1,91.10 <sup>-8</sup>
Nickel	1,34.10 <sup>-7</sup>

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

Le mode de calcul retenu pour l'étude permet de quantifier le dépôt sec uniquement (dépôt gravitaire des particules atmosphériques).

Afin d'estimer le dépôt humide, lié à l'entraînement des particules par la pluie, nous avons appliqué à la concentration maximale modélisée, les coefficients de lessivage donnés dans le tableau suivant.

Substance	Concentration maximale modélisée (µg/m <sup>3</sup> )	Coefficient de lessivage (s <sup>-1</sup> )	Source	Dépôt humide estimé à partir du coefficient de lessivage et de la concentration maximale modélisée (µg/m <sup>2</sup> .s)
Plomb	2,87.10 <sup>-4</sup>	3,30.10 <sup>-5</sup>	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	9,47.10 <sup>-9</sup>
Cadmium	4,24.10 <sup>-6</sup>	7,00.10 <sup>-5</sup>		2,97.10 <sup>-10</sup>
Nickel	2,97.10 <sup>-5</sup>	En l'absence de données, nous avons appliqué le coefficient de lessivage du cadmium		2,08.10 <sup>-9</sup>

Substance	Dépôt sec modélisé dans la zone de retombées maximale ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )	Dépôt humide estimé à partir du coefficient de lessivage et de la concentration maximale modélisée ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )	Dépôt total (sec + humide) dans la zone de retombées maximale ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )
<b>Plomb</b>	$8,61.10^{-7}$	$9,47.10^{-9}$	<b><math>8,7.10^{-7}</math></b>
<b>Cadmium</b>	$1,91.10^{-8}$	$2,97.10^{-10}$	<b><math>1,94.10^{-8}</math></b>
<b>Nickel</b>	$1,34.10^{-7}$	$2,08.10^{-9}$	<b><math>1,36.10^{-7}</math></b>

Les différentes étapes de calcul de remontée de chaîne alimentaire sont détaillées en annexes.

#### • Résultats des calculs de remontée de chaîne alimentaire

Nous retiendrons, pour la suite de l'étude, les DJE enfant et nous avons calculé les DJE adulte moyennées et pondérées sur la vie entière (6 ans d'exposition pour un enfant + 64 ans d'exposition pour un adulte = 70 ans d'exposition).

Substance	DJE enfant ( $\text{mg}/\text{kg}.\text{j}$ )	DJE adulte ( $\text{mg}/\text{kg}.\text{j}$ )	DJE adulte moyenne pondérée sur la vie entière (70 ans) ( $\text{mg}/\text{kg}.\text{j}$ )
<b>Plomb (Pb)</b>	$1,15.10^{-5}$	$4,88.10^{-6}$	<b><math>5,45.10^{-6}</math></b>
<b>Cadmium (Cd)</b>	$7,8.10^{-8}$	$2,53.10^{-8}$	<b><math>2,98.10^{-8}</math></b>
<b>Nickel (Ni)</b>	$1,3.10^{-6}$	$3,6.10^{-7}$	<b><math>4,41.10^{-7}</math></b>

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

On constate que la DJE enfant est, pour toutes les substances, supérieure à la DJE adulte.

Dans la suite de l'étude, nous retiendrons la DJE enfant, scénario le plus pénalisant, afin de calculer les indices de risque. Pour calculer les ERI (Excès de Risque Individuel), faisant intervenir la durée d'exposition, nous utilisons les DJE enfant et adulte.

### Effets à seuil :

**Tableau récapitulatif des indices de risque pour les effets à seuil par ingestion pour le scénario enfant (cas le plus pénalisant)**

COMPOSE	DJE ENFANT (mg/kg.j)	VALEUR TOXICOLOGIQUE DE REFERENCE POUR L'INGESTION (mg/kg.j)	INDICE DE RISQUE INGESTION
<b>Plomb (Pb)</b>	$1,15.10^{-5}$	$3,6.10^{-3}$	<b><math>3,02.10^{-3}</math></b>
<b>Cadmium (Cd)</b>	$7,8.10^{-8}$	$1.10^{-3}$	<b><math>7,08.10^{-5}</math></b>
<b>Nickel (Ni)</b>	$1,3.10^{-6}$	$2.10^{-2}$	<b><math>6,5.10^{-5}</math></b>
<b>Indice de risque total pour l'exposition par ingestion</b>			<b><math>3,35.10^{-3}</math></b>

L'indice de risque le plus important est obtenu pour le Plomb avec une valeur de  $3,02.10^{-3}$ .

**Les indices de risque obtenus pour chacun des composés traceurs pour une exposition chronique par ingestion sont nettement inférieurs à 1.**

L'addition des indices de risque lié aux substances et aux différentes voies d'exposition (inhalation et ingestion) est réalisée dans le paragraphe 7.4.3. Risque global.

### Effets sans seuil :

**Tableau récapitulatif des indices de risque pour les effets sans seuil par ingestion pour le scénario adulte**

COMPOSE	DJE ADULTE PONDEREE SUR LA VIE ENTIERE (mg/kg.j)	EXCES DE RISQUE UNITAIRE POUR L'INGESTION	EXCES DE RISQUE INDIVIDUEL INGESTION
<b>Plomb</b>	$5,45.10^{-6}$	$8,5.10^{-3} \text{ (mg/kg.j)}^{-1}$	<b><math>4,63.10^{-8}</math></b>

**Les excès de risque individuels obtenus pour chacun des composés traceurs pour une exposition chronique par ingestion sont nettement inférieurs à la valeur repère recommandée par l'US-EPA et l'OMS, à savoir  $10^{-5}$ .**

L'excès de risque individuel obtenu pour le plomb est de  $4,63.10^{-8}$ .

L'addition des ERI lié aux substances et aux différentes voies d'exposition (inhalation et ingestion) est réalisée dans le paragraphe 7.4.3. Risque global.

- **Conclusion sur l'exposition par ingestion**

Afin de vérifier la contribution de la voie d'exposition par ingestion, nous avons retenu un scénario d'exposition très pénalisant et irréaliste : cas d'un individu (enfant et adulte) vivant en autarcie alimentaire complète dans la zone de retombées maximales où les dépôts de métaux s'accumulent pendant 70 ans sans élimination par lixiviation ou ruissellement.

Malgré les hypothèses très pénalisantes, nous pouvons conclure au respect des recommandations des autorités sanitaires (indice de risque  $< 1$  et excès de risque individuel  $< 10^{-5}$ ) pour l'exposition par ingestion.

#### 7.4.3 Risque global : inhalation et ingestion

Conformément au guide méthodologique de l'INERIS, nous avons adopté la démarche la plus courante qui consiste, au moins dans un premier temps, à additionner les indices de risques liés aux différentes substances et aux différentes voies d'exposition pour une même durée d'exposition.

- **Effets à seuil**

Le tableau ci-dessous présente l'indice de risque global obtenu pour les différentes substances et voies d'exposition. Ce dernier est obtenu en additionnant les indices de risques de chaque substance par inhalation et ingestion.

Substances	IR <sub>inh</sub>	IR <sub>ing</sub>
SO <sub>2</sub>	$6,23.10^{-4}$	-
NOx	$9,44.10^{-2}$	-
CO	-	-
Poussières	$8,38.10^{-3}$	-
Benzène	$2,56.10^{-4}$	$10^{-4}$
Plomb	$5,74.10^{-4}$	$3,2.10^{-3}$
Cadmium	$8,48.10^{-4}$	$7,8.10^{-5}$
Nickel	$3,3.10^{-4}$	$6,5.10^{-5}$
<b>Indice de risque global</b>	<b><math>1,09.10^{-1}</math></b>	

L'indice de risque global obtenu atteint de  $1,09.10^{-1}$ . Cette valeur est inférieure à la valeur repère de 1.

Par ailleurs, il convient de rappeler que cette méthode est très majorante puisque les indices de risque de toutes les substances et toutes les voies d'expositions sont additionnés alors que les substances n'ont pas toutes un effet sur le même organe cible.

- **Effets sans seuil**

Le tableau ci-dessous présente les excès de risque individuels obtenus pour les différentes substances cancérogènes et les différentes voies d'exposition.

Substances	ERI <sub>inh</sub>	ERI <sub>ing</sub>
Benzène	$1,69.10^{-8}$	-
Plomb	$3,44.10^{-9}$	$4,63.10^{-8}$
Cadmium	$7,63.10^{-9}$	-
Nickel	$7,12.10^{-9}$	-
<b>ERI global</b>	<b><math>8,14.10^{-8}</math></b>	

L'excès de risque individuel global est obtenu en additionnant les indices de risques de chaque substance par inhalation et ingestion. Il atteint une valeur maximale de  $8,14.10^{-8}$ . Cette valeur est inférieure à la valeur repère de  $10^{-5}$  préconisée par l'OMS.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## 8 INCERTITUDES

### 8.1 Introduction

Cette Etude du Risque Sanitaire (ERS) a été conduite en utilisant dans un principe de prudence et de proportionnalité, les méthodes et les données recommandées par les organismes experts, en priorité l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) et l'INERIS et de façon complémentaire l'US-EPA et l'OMS.

Néanmoins, la démarche d'ERS s'accompagne nécessairement d'une part d'incertitudes qui proviennent de lacunes ou d'imprécisions des données et de l'obligation de fixer des hypothèses.

Les hypothèses ont été fixées autant que possible dans le sens de la sécurité, dans le but de privilégier une surestimation des risques sanitaires.

Les principales sources d'incertitudes qui sous-estiment ou surestiment les risques sont :

- L'extrapolation de données toxicologiques à partir d'études épidémiologiques et d'expérimentations sur l'animal,
- Les incertitudes sur l'estimation des émissions,
- Les incertitudes liées au modèle de dispersion atmosphérique utilisé,
- Les incertitudes liées au modèle de remontée de chaîne alimentaire,
- Les incertitudes sur l'exposition des populations et sur la variabilité des êtres humains aux différents facteurs.

Il n'est pas envisageable actuellement de quantifier l'incertitude sur le risque sanitaire final. L'objectif de ce chapitre est de présenter les principales incertitudes, certaines surestiment le risque, d'autres le sous-estiment.

L'évaluation quantitative du risque sanitaire ne doit pas être lue comme le taux de mortalité attendu dans la population exposée, mais comme une estimation du risque potentiel fondé sur les connaissances à la date d'élaboration de l'étude et sur un certain nombre d'hypothèses.

### 8.2 Incertitudes sur les données toxicologiques

Les valeurs toxicologiques de référence pour les effets sans seuil comme pour les effets à seuil sont fondées sur :

- Des études épidémiologiques (cohorte de travailleurs soumise à des expositions professionnelles).
- Des expérimentations sur l'animal en attribuant aux résultats des facteurs d'incertitudes.

Il est important de noter que :

- l'homme ne réagit pas nécessairement comme l'animal,
- les données sur l'animal sont elles-mêmes soumises aux incertitudes liées aux protocoles expérimentaux (nombre d'animaux, dosage, voie d'administration des produits, durée des tests,...),
- l'extrapolation par des modèles mathématiques de résultats expérimentaux d'exposition à fortes concentrations, à des expositions chroniques à très faibles doses génère des biais sur les résultats,



Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

- le principe de prudence nous conduit en première approche à ajouter les indices de risque et excès de risque individuels pour les différentes substances et voies d'exposition,
- les effets de synergie (sous estimation des risques) ou d'antagonisme (surestimation des risques) des différents composés ne peuvent pas être pris en compte.

### 8.3 Incertitudes liées aux estimations des émissions

Les émissions sont quantifiées sur la base de données de trafic transmises par la LMCU (extrapolation à partir des heures de pointe). Ces données peuvent comporter des incertitudes : hypothèses pour l'estimation de l'évolution du trafic à l'horizon 2013.

Notons que nous avons réalisé l'étude en retenant les axes routiers directement impactés par le projet.

Les données d'émission sont calculées par le logiciel IMPACT développé par l'ADEME.

Les principales incertitudes du logiciel proviennent :

- des hypothèses concernant les données d'entrée du modèle : principalement les données de trafic,
- du modèle lui-même, qui utilise des facteurs d'émissions, des hypothèses pour la caractérisation du parc automobile en fonction des années, l'évolution des performances des moteurs et des carburants.

### 8.4 Incertitudes liées au modèle de dispersion atmosphérique

Ces incertitudes proviennent :

- des hypothèses concernant les données d'entrée du modèle,
- du modèle lui-même, qui utilise une formulation mathématique réductrice des phénomènes physiques mis en œuvre lors des phénomènes de transport et de dispersion des polluants.

Les incertitudes liées aux hypothèses d'entrée du modèle sont :

- le choix de la station météorologique la plus représentative, mais pas implantée exactement sur le site,
- l'utilisation d'une table de contingence nébulosité - vitesse de vent pour déterminer des classes de stabilité discontinues,
- le choix d'une valeur d'albédo identique pour l'année (non prise en compte des périodes de neige par exemple),
- le choix d'un coefficient de rugosité unique pour l'ensemble des domaines (prairies, zones d'habitat ou urbaines, forêts).

Le modèle de type gaussien avec un modèle à bouffées gaussiennes pour prendre en compte les vents calmes ( $\leq$  à 0,9 m/s).

Les principales incertitudes du modèle sont :

- un manque de précision à moins de 100 m de la source (se traduisant en général par une surestimation de l'exposition),
- la non prise en compte des obstacles en champ proche et du relief,

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

- la prise en compte du relief qui dans certains cas tend à majorer les concentrations d'exposition (dans le cas présent, nous n'avons pas intégré le relief),
- la non prise en compte de phénomènes de transformation des polluants dans l'atmosphère.

Le modèle ARIA Impact est cité dans le Guide méthodologique de l'INERIS parmi les logiciels susceptibles d'être utilisés pour la modélisation de rejets atmosphériques chroniques.

Ce logiciel répond au cahier des charges de l'US-EPA (Guidelines on Air Quality Models).

## 8.5 Incertitudes liées au modèle de remontée de chaîne alimentaire

Le modèle utilisé est un modèle simple, basé sur les équations classiques fournies dans de nombreux guides méthodologiques.

Les principales incertitudes du modèle sont les suivantes :

### 1) Temps d'exposition :

Nous avons considéré en première approche une exposition continue des populations durant 70 ans puis 30 ans, 24h/24, 365 j/365, sans prise en compte de déplacement dans et hors du modèle d'étude (hypothèse très majorante)

### 2) Evolution des concentrations dans le sol et persistance :

Le modèle de calcul de remontée de chaîne alimentaire que nous avons utilisé pour estimer l'exposition par ingestion des populations ne tient pas compte des phénomènes d'atténuation naturelle des polluants dans le sol (ruissellement, érosion, lixiviation, volatilisation et dégradation). En effet, ces phénomènes étant fortement dépendant des conditions locales (caractéristiques pédologiques, climatiques, topographiques), ils sont difficiles à estimer. De plus, la prise en compte de la dégradation des polluants dans le sol nécessiterait de s'intéresser à leur produits de dégradation (la formation de ces produits de dégradations est dépendante des conditions locales et donc difficile à caractériser).

La surestimation de ces phénomènes d'atténuation peut conduire à minorer l'exposition des populations par cette voie. Par prudence, les calculs de remontée de chaîne alimentaire ont été réalisés sans tenir compte de cette atténuation naturelle (accumulation linéaire dans le sol).

Cette approche est la même que celle utilisée par l'INERIS dans son rapport de *Mise à jour de l'étude d'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, Décembre 2004*.

C'est à partir de cette hypothèse qu'ont été calculées les concentrations dans le sol, attribuables aux rejets atmosphériques du projet au bout de 70 ans d'émission de ces polluants. Il convient donc de préciser que cette méthode est très majorante puisque les calculs de remontée dans la chaîne alimentaire sont réalisés à partir des dépôts accumulés pendant 70 ans dans le sol (alors que la première année, le dépôt est égal à D, la deuxième année, il est égal à 2D,... et la 70<sup>ème</sup> année uniquement, il est égal à 70D).

### 3) Contamination préexistante et bruit de fond :

L'étude prend en compte les émissions des axes considérés afin d'évaluer la contribution de ces installations à l'exposition des populations.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiél
---------	---

Nous n'avons pas tenu compte d'une contamination préexistante ou d'une source de contamination secondaire sur la zone d'étude. L'objectif d'une telle étude de risque sanitaire est bien d'évaluer uniquement le risque attribuable aux émissions des axes routiers étudiés.

#### 4) La non prise en compte de l'exposition par voie cutanée :

Dans son rapport de *Mise à jour de l'étude d'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, décembre 2004*, l'INERIS montre que cette voie d'exposition est négligeable par rapport à l'exposition par ingestion.

#### 5) Choix du scénario d'exposition retenu :

Le scénario d'exposition retenu est celui d'individus exposés la vie entière et en autarcie alimentaire complète dans la zone de retombées maximales : consommation directe de sol, de fruits et légumes, de produits d'origine animale (avec l'alimentation des animaux issue uniquement de la zone de retombées maximales. Cette hypothèse est fortement pénalisante et irréaliste, mais elle a le mérite de vérifier la contribution de cette voie d'exposition sur la santé des riverains.

D'autres hypothèses (simplifications) sont sources d'incertitudes comme le regroupement de catégories d'aliments ingérés (assimilation des aliments carnés, hors viande de volaille, consommés à de la viande de bœuf, quel que soit le pourcentage de matières grasses des différents aliments - impact de cette hypothèse non quantifiable), la non prise en compte des procédés de transformation du lait sur la contamination des produits laitiers par d'autres substances (impact de cette hypothèse non quantifiable), la non prise en compte du nettoyage et du mode de préparation des aliments qui peuvent réduire leur niveau de contamination (hypothèse majorante).

Le modèle utilisé dans la présente étude est donc majorant (points 1, 2 et 6), mais présente les avantages suivants :

- ➔ Permet de ne pas retenir d'hypothèses discutables sur les temps d'exposition (variabilité des déplacements dans la population : départ en vacances et durée des vacances selon âge de la population, classe sociale, ...).
- ➔ Permet de ne pas utiliser de coefficient d'atténuation des polluants dans les sols, compte tenu de la complexité des phénomènes et de l'absence de modèle complet validé à ce jour (modèle majorant par rapport à une approche complète du comportement des polluants dans les sols sur le long terme).
- ➔ Approche suffisamment simple pour être opérationnelle.

Nota : Nous n'avons pas étudié la contamination des sols et des végétaux par l'irrigation (voie de contamination mineure).

## 8.6 Les incertitudes sur l'exposition des populations et sur la variabilité des êtres humains aux différents facteurs

De nombreux facteurs relatifs à la diversité génétique (métabolisme, sensibilité au polluant, ...), au mode de vie (régime alimentaire, sédentarité,...), à l'état de santé (âge, immunodéficiences, ...) ne peuvent être intégrés dans l'étude de risque sanitaire (sinon par un coefficient d'incertitude supplémentaire sur les valeurs toxicologiques de référence).

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

La quantification du risque est réalisée de façon majorante en supposant une exposition « vie entière » (soit 70 ans en continu) au composé pour une localisation donnée (zone de retombées maximale).

Il n'est pas tenu compte des déplacements en dehors du domaine d'étude, ni dans le domaine d'étude.

Le scénario d'exposition retenu (scénario majorant irréaliste) suppose :

- L'ensemble des aliments consommés (fruits, légumes, lait, produits laitiers et viande) sont supposés provenir de la zone de retombées maximales.
- Une alimentation des animaux producteurs provenant exclusivement de la zone de retombées maximale.
- Un approvisionnement en produits céréaliers destinés à l'alimentation humaine issu d'une zone qui est sous l'emprise de la zone de retombées maximales.

## 8.7 Conclusion sur les incertitudes

Les hypothèses prises pour les valeurs des variables d'entrée de l'étude et les coefficients de sécurité pris à chaque étape du processus, rendent peu probable une sous-estimation du risque lié aux émissions de l'installation étudiée pour les populations.

Rappelons que les indices de risque calculés sont des indicateurs évalués avec les connaissances techniques du moment.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## 9 SYNTHÈSE ET CONCLUSION

L'Évaluation des Risques Sanitaires a été réalisée pour les émissions liées au trafic routier sur les axes directement impactés par le projet d'aménagement et de renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel.

Les résultats de l'Évaluation des Risques Sanitaires sont les suivants :

### **A l'horizon 2013 (après la mise en service du projet) :**

- ☞ L'Indice de Risque global (pour l'exposition par inhalation et par ingestion) est inférieur à 1 (Indice de risque total =  $1,09.10^{-1}$ ).
- ☞ L'Excès de Risque Individuel global (pour l'exposition par inhalation et ingestion) est inférieur à la recommandation de l'OMS, à savoir  $10^{-5}$  (Excès de risque individuel total =  $8,14.10^{-8}$ ).
- ☞ **Au vu des exigences réglementaires et des connaissances méthodologiques et bibliographiques validées au moment de la rédaction du rapport, les émissions atmosphériques engendrées par le trafic routier liées au projet permettent de respecter les recommandations des autorités sanitaires.**

Bondues	<p>Etude du Risque Sanitaire</p> <p>Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel</p>
---------	--

## 10 ANNEXES

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## **ANNEXE 1**

### **Explicatif du calcul de remontée de chaîne alimentaire**

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

Cette annexe présente la méthodologie de calcul de remontée de chaîne alimentaire permettant de caractériser l'exposition des populations par ingestion. Chaque étape du calcul est explicitée et un exemple est donné pour le nickel.

## 1. Introduction

La méthodologie suivie est issue de la documentation de la méthode présentée par l'EPA pour réaliser une évaluation du risque pour les installations de combustion de déchets dangereux : *Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, Peer Review Draft, July 1998*.

Nous utilisons également les travaux du Groupe Radioécologie Nord Cotentin : *Modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement* (Groupe de travail n°3, 1999), tel que l'a fait l'INERIS dans le rapport sur les Grandes Installations de Combustion (rapport de juin 2003 et rapport de mise à jour de décembre 2004).

Le logiciel de modélisation de la dispersion des polluants permet de modéliser les retombées au sol.

Les principales voies d'exposition par ingestion sont les suivantes :

- Ingestion directe de sol en particulier chez les enfants (jeux à l'extérieur,...),
- Ingestion indirecte via les légumes et les fruits,
- Ingestion indirecte via les produits animaux (viande, lait, œufs,...). La contamination des animaux provient de l'ingestion directe de sol (pâturage) et de la contamination des végétaux.

Il n'est pas réaliste (exposition non représentative de l'exposition de la population) de cumuler ces 3 voies d'exposition dans la zone de retombées maximales. Cependant, c'est ce que nous avons réalisé en première approche afin de s'assurer que cette voie d'exposition est marginale.

Nous considérons une durée d'exposition pendant la vie entière (70 ans).

Nous avons retenu un scénario d'exposition très pénalisant et irréaliste : cas d'un individu (enfant et adulte) vivant en autarcie alimentaire complète (et ingestion directe de sol, particulièrement pour les enfants) dans la zone de retombées maximales. C'est à dire que la totalité des fruits, des légumes et des produits d'origine animale consommés sont supposés provenir de cette zone.

## 2. Contamination des sols et des végétaux

### 2.1. Contamination des sols

Le modèle ARIA Impact utilisé pour la dispersion atmosphérique des polluants permet de calculer les retombées des polluants sur le sol, présentées sous forme d'une vitesse de dépôt par unité de surface, exprimée en  $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ .

Pour le calcul des concentrations des traceurs du risque dans le sol, résultant d'un dépôt en surface, nous ferons l'hypothèse que les métaux se déposent sur le sol avec le même flux annuel, et qu'il ne se produit aucune élimination de ces métaux par ruissellement ou par lixiviation ou tout autre phénomène. Les polluants s'accumulent et restent donc en surface du sol. Cette approche est pénalisante pour la concentration dans les premiers centimètres de sol et minorante pour les transferts vers les nappes souterraines.



A partir de cette hypothèse, il est possible de calculer les concentrations dans le sol, attribuables aux rejets atmosphériques liées au trafic routier : accumulation pendant 70 ans dans les sols des polluants. Nous ne tiendrons pas compte des concentrations présentes dans le sol au préalable de notre période d'étude.

Les concentrations sont calculées dans le premier centimètre de sol (concentration superficielle), dans les 10 premiers centimètres, puis dans la couche des 20 premiers centimètres en divisant par un facteur 10 puis 20 la concentration superficielle). Ceci revient à « mélanger » de façon homogène le dépôt superficiel dans une épaisseur de sol de 10 ou 20 centimètres.

Pour les calculs, nous prendrons une densité de sol sec standard égale à :  $1,3 \text{ kg/dm}^3$  (c'est-à-dire  $1,3 \text{ tonnes/m}^3$ ). Il s'agit de la valeur utilisée par l'INERIS (2001), préférée à celle recommandée par la méthode HHRAP (US-EPA, 1998) qui est de  $1,5 \text{ kg/dm}^3$ .

Les concentrations dans le sol ont été calculées :

- Dans la couche superficielle de 1 cm d'épaisseur pour le calcul d'exposition par ingestion de poussières.
- Dans la couche superficielle de 10 cm d'épaisseur (préconisation de l'INERIS dans sa *Mise à jour de l'étude d'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion*) pour calculer la contamination de l'herbe de pâturage par le sol (ainsi que l'ingestion de terre par les animaux).
- Dans la couche superficielle de 20 cm d'épaisseur, dans laquelle sont cultivés les végétaux destinés en particulier à l'alimentation humaine (labourage).

Les vitesses de dépôts secs par unité de surface modélisées sont présentées dans le tableau suivant :

Substance	Dépôt sec modélisé dans la zone de retombées maximale ( $\mu\text{g/m}^2.\text{s}$ )
Plomb	$8,61.10^{-7}$
Cadmium	$1,91.10^{-8}$
Nickel	$1,34.10^{-7}$

Le mode de calcul retenu pour l'étude permet de quantifier le dépôt sec uniquement (dépôt gravitaire des particules atmosphériques).

En première approche et afin d'estimer le dépôt humide, lié à l'entraînement des particules par la pluie, nous avons appliqué à la concentration maximale modélisée, les coefficients de lessivage donnés dans le tableau suivant.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

Substance	Concentration maximale modélisée (µg/m³)	Coefficient de lessivage (s <sup>-1</sup> )	Source	Dépôt humide estimé à partir du coefficient de lessivage et de la concentration maximale modélisée (µg/m².s)
Plomb	2,87.10 <sup>-4</sup>	3,30.10 <sup>-5</sup>	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	9,47.10 <sup>-9</sup>
Cadmium	4,24.10 <sup>-6</sup>	7,00.10 <sup>-5</sup>		2,97.10 <sup>-10</sup>
Nickel	2,97.10 <sup>-5</sup>	En l'absence de données, nous avons appliqué le coefficient de lessivage du cadmium		2,08.10 <sup>-9</sup>

Substance	Dépôt sec modélisé dans la zone de retombées maximale ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )	Dépôt humide estimé à partir du coefficient de lessivage et de la concentration maximale modélisée ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )	Dépôt total (sec + humide) dans la zone de retombées maximale ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )
Plomb	$8,61.10^{-7}$	$9,47.10^{-9}$	$8,7.10^{-7}$
Cadmium	$1,91.10^{-8}$	$2,97.10^{-10}$	$1,94.10^{-8}$
Nickel	$1,34.10^{-7}$	$2,08.10^{-9}$	$1,36.10^{-7}$

**Exemple de calcul : Cas du nickel pour la zone de retombées maximales :**

- retombée dans la zone de retombée maximale :  $1,36.10^{-7} \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ , soit  $4,28.10^{-3} \text{ mg}/\text{m}^2/\text{an}$
- volume d'une « tranche » de sol de dimensions  $10 \times 10 \times 0,1 \text{ dm} = 10 \text{ dm}^3$
- poids de la « tranche » de sol précédente =  $10 \times 1,3 = 13 \text{ kg}$
- augmentation annuelle de la concentration en nickel dans la couche de 1 cm de sol =  $4,28.10^{-3} / 13 = 3,29.10^{-4} \text{ mg}/\text{kg}$
- concentration dans le sol la 70<sup>ème</sup> année =  $3,29.10^{-4} \times 70 = 2,30.10^{-2} \text{ mg}/\text{kg}$
- concentrations dans une couche de sol de 10 cm d'épaisseur : diviser les concentrations précédentes par un facteur 10, soit  $2,39.10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}$
- concentrations dans une couche de sol de 20 cm d'épaisseur : diviser les concentrations précédentes par un facteur 20, soit  $1,15.10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}$

## 2.2. Contamination des végétaux

### Calcul des concentrations dans les végétaux à partir des valeurs modélisées dans les sols dans la zone de retombée maximale :

Dans le cas présent, la contamination des végétaux a essentiellement deux origines :

- l'assimilation des polluants par la plante depuis le sol, par les racines, puis la diffusion dans tout le végétal,
- les dépôts de polluants sur les parties aériennes provenant des retombées atmosphériques et de réenvol de poussières.

#### - Transfert sol / plante

La formule suivante permet de calculer la concentration de polluant dans les plantes, à partir de la concentration en polluant dans le sol et la connaissance du facteur de bioconcentration, propre à chaque substance (et qui dépend également de la nature du sol, de son pH et de la nature de plante, de la concentration en polluants dans le sol... paramètres qui n'ont pas été pris en compte dans cette évaluation de premier niveau d'approche).

$$C_p = BCF \times C_s$$

Avec :

$C_p$  : concentration dans la plante (mg/kg)

$C_s$  : concentration dans le sol (mg/kg<sub>sol sec</sub>)

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

Les valeurs choisies dans la littérature pour les substances traceur du risque sont portées dans le tableau ci-après.

Plusieurs bases de données permettent d'accéder à des valeurs de BCF. On relève des différences importantes, ce qui est logique compte tenu du nombre de paramètres qui influent sur les facteurs de bio concentration.

Les valeurs de BCF issues du volume II, Appendix A, de la méthode HHRAP, sont calculées à partir d'équations de corrélation mettant en jeu les coefficients de partage octanol-eau et carbone organique-eau, dont les valeurs peuvent être différentes dans la littérature.

Or, l'IRSN dans l'étude Nord-Cotentin (1999) utilise des coefficients de transfert issus de résultats analytiques.

Le tableau suivant présente les valeurs que nous avons retenues ; ces valeurs sont issues du document HHRAP de l'EPA (mise à jour de 2005) et en cas de données manquantes de la référence IRSN (1997).

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

Les végétaux considérés sont :

- les « légumes racines » comprennent les radis, carottes, navets, pommes de terre,
- les « légumes feuilles » comprennent les salades, choux, poireaux...
- les « légumes fruits » comprennent les haricots verts, tomates, courgettes...
- les fruits du type pomme, abricot...;
- les « grains » comprennent les céréales et le maïs d'ensilage ;
- « l'herbe » comprend le fourrage (herbe de pâturage et foin) et l'ensilage.

Le calcul des concentrations de polluants dans les grains et l'herbe sera utilisé pour évaluer la contamination des produits d'origine animale, ces végétaux constituant le régime alimentaire des animaux.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

### Facteurs de bio concentration sol / plantes (données de la littérature)

		BCF						Source biblio
Polluant	Unité	sol/racine	sol/feuille	sol/legume-fruit	sol/fruit	sol/herbe	sol/grain	
Cd	kg végétal sec / kg sol sec	6,40E-02	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	3,64E-01	6,20E-02	HHRAP 2005
	kg végétal frais / kg sol sec	1,28E-02	1,08E-02	7,88E-03	1,88E-02	7,28E-02	5,47E-02	Extrapolé / Tms
Ni	kg végétal sec / kg sol sec	8.00E-03	9,31E-03	9.31E-03	9.31E-03	3.20E-02	6.00E-03	HHRAP 2005
	kg végétal frais / kg sol sec	1.60E-03	8,01E-04	5.87E-04	1.40E-03	6.40E-03	5.29E-03	Extrapolé / Tms
Pb	kg végétal sec / kg sol sec	9.00E-03	1.36E-02	1.36E-02	1.36E-02	4.50E-02	9.00E-03	HHRAP 2005
	kg végétal frais / kg sol sec	1.80E-03	1.17E-03	8.57E-04	2.04E-03	9.00E-03	7.94E-03	Extrapolé / Tms

Taux de matière sèche (Tms)	sol/racine	sol/feuille	sol/legume-fruit	sol/fruit	sol/herbe	sol/grain
	0.2	0.086	0.063	0.15	0.2	0.882

Nota :  $BCF_{\text{sol/leg-fruit}} = BCF_{\text{sol/fruit}}$

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

### **Exemple de calcul de concentrations dans les végétaux par transfert sol- plante :**

#### **Cas du nickel pour les « légumes feuille »**

Concentration modélisée dans les 20 premiers cm de sol =  $1,15 \cdot 10^{-3}$  mg/kg

BCF =  $8,01 \cdot 10^{-4}$  mg/kg frais de légume feuille / mg/kg de sol sec

Concentration du nickel dans la plante =  $1,15 \cdot 10^{-3} \times 8,01 \cdot 10^{-4} = 9,22 \cdot 10^{-7}$  mg/kg

Concernant l'herbe de pâturage, il est plus réaliste de calculer sa contamination par polluant, en considérant la concentration en polluant **dans les 10 premiers cm de sol**.

### **Exemple de calcul de concentrations dans l'herbe par transfert sol- plante :**

#### **Cas du nickel pour l'« herbe de pâturage »**

Concentration modélisée dans les 10 premiers cm de sol =  $2,30 \cdot 10^{-3}$  mg/kg

BCF =  $6,4 \cdot 10^{-3}$  mg/kg frais d'herbe de pâturage / mg/kg de sol sec

Concentration du nickel dans la plante « herbe de pâturage » =  $2,30 \cdot 10^{-3} \times 6,4 \cdot 10^{-3} = 1,47 \cdot 10^{-5}$  mg/kg

#### **- Dépôt de particules atmosphériques sur les plantes (à feuilles et fruits) et l'herbe**

Le dépôt de particules sur les plantes est donné par la formule suivante, préconisée par l'US-EPA<sup>1</sup> :

$$C_{dp} = 1000 \times Q \times (1 - F_v) \times (D_{ydp} + F_w \times D_{ywp}) \times R_p \times [(1 - \exp(-k_p \times T_p)) / (Y_p \times k_p)]$$

Avec :

$C_{dp}$  : concentration dans les plantes due au phénomène de déposition (mg/kg sec)

Q : flux d'émission (g/s)

$F_v$  : fraction de polluant présent dans l'atmosphère sous forme vapeur

$D_{ydp}$  : dépôt annuel (s/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>)

Dans cette équation, le terme  $1000 \times Q \times (1 - F_v) \times (D_{ydp} + F_w \times D_{ywp})$  permet de déterminer le dépôt annuel dû au dépôt sec et au dépôt humide. Le dépôt total est issu de la modélisation de la dispersion atmosphérique et s'exprime en µg/m<sup>2</sup>.an. L'équation précédente devient :

$$C_{dp} = \text{Dépôt}_{total} \times R_p \times [(1 - \exp(-k_p \times T_p)) / (Y_p \times k_p)]$$

Cette concentration est exprimée par rapport au poids de végétal sec. Or, pour le calcul des doses d'exposition, il faudra utiliser les quantités journalières de végétaux frais consommées par les populations.

Nous devons donc la convertir en valeur relative au végétal sec. Pour cela, nous multiplions la concentration exprimée en végétal sec par la teneur en matière sèche de la plante ( $t_{ms}$ ).

$$C_{dp} \text{ frais} = C_{dp} \text{ sec} \times t_{ms}$$

<sup>1</sup> US-EPA (1998) : Human Health Risk Assessment Protocol for hazardous waste combustion facilities (HHRAP)

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

Le tableau suivant présente les paramètres relatifs aux végétaux, pris en compte pour le calcul du dépôt de particules sur les plantes et l'herbe. Ces valeurs sont issues du document HHRAP de l'EPA (1998) et en cas de données manquantes, de la référence IRSN (1997).

Type de plante	$t_{ms}$	$Y_p$ (kg sec /m <sup>2</sup> )	$R_p$	$k_p$ (an <sup>-1</sup> )	$T_p$ (an)
<b>Légumes-racines</b>	0,2	-	-	-	-
<b>Légumes-feuilles</b>	0,086	0,246	0,215	18	0,164
<b>Légumes-fruits</b>	0,063	10,52	0,996	18	0,164
<b>Fruits</b>	0,15	0,252	0,053	18	0,164
<b>Herbe</b>	0,2	0,24	0,5	18	0,12

Pour les grains, on considère que la contamination par dépôt de particules atmosphériques est négligeable car ils sont protégés par une enveloppe et ne sont donc pas atteints directement.

**Exemple de calcul de contamination des plantes par dépôt de particules atmosphériques**  
**Cas du nickel pour les « légumes feuilles »**

$$C_{dp} \text{ frais} = \text{Dépôt}_{\text{total}} \times R_p \times [1 - \exp(-k_p \times T_p)] / (Y_p \times k_p) \times t_{ms}$$

$$D_t = 4,28.10^{-3} \text{ mg/m}^2/\text{an}$$

$$t_{ms} = 0,086$$

$$R_p = 0,215$$

$$Y_p = 0,246 \text{ kg/m}^2$$

$$k_p = 18 \text{ an}^{-1}$$

$$T_p = 0,164 \text{ an}$$

$$C_{dp} \text{ frais} = D_t \times 0,215 \times [1 - \exp(-18 \times 0,164)] / (0,246 \times 18) \times t_{ms}$$

$$C_{dp} \text{ frais} = 1,69.10^{-5} \text{ mg/kg}_{\text{frais de plante}}$$

**- Contamination totale des plantes**

Pour les plantes à racines comestibles, on ne tient pas compte des retombées sur les feuilles ou les fruits qui ne sont pas consommés.

Pour les plantes aux parties aériennes comestibles (feuilles et/ou fruits, herbe pour les animaux), il faut faire la somme des résultats : transfert des polluants par le sol et dépôts de particules. On se place alors dans l'hypothèse majorante où la population ne lave pas les végétaux avant consommation.

**Exemple de calcul :**

**Cas du nickel pour les « légumes feuilles »**

- concentration dans les légumes feuilles par transfert du sol =  $9,22.10^{-7} \text{ mg/kg}$

- dépôt de particules sur les feuilles =  $1,69.10^{-5} \text{ mg/kg}$

- contamination totale :  $9,22.10^{-7} + 1,69.10^{-5} = 1,79.10^{-5} \text{ mg/kg}_{\text{plante fraîche}}$

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

Les résultats de la contamination totale des plantes sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau 3 : Contamination totale des plantes (via le sol et les dépôts de particules) en mg/kg**

Substance	Légume racine	Légume feuille	Légume fruit	Fruit	Herbe	Grain
Cadmium (Cd)	2,11E-06	4,19E-06	1,49E-06	4,11E-06	3,65E-05	9,00E-06
Nickel (Ni)	1,84E-06	1,79E-05	2,02E-06	8,72E-06	1,02E-04	6,09E-06
Plomb (Pb)	1,33E-05	1,17E-04	1,50E-05	6,07E-05	6,95E-04	5,87E-05

### 2.3. Contamination des produits d'origine animale

Les produits d'origine animale susceptibles d'être contaminés par les polluants issus de l'installation sont :

- La viande de bœuf ;
- Les produits laitiers ;
- Les œufs ;
- La viande de volaille.

Dans le cas de notre étude, nous retiendrons le cas pénalisant où l'ensemble des aliments consommés par les populations exposées proviennent exclusivement de la zone de retombées maximales : fruits, légumes, et produits d'origine animale (viande, produits laitiers, œufs).

Les concentrations de polluant dans ces aliments sont estimées à partir de la quantité de polluant ingéré par l'animal producteur, provenant :

- De leur régime alimentaire : ingestion d'herbe (fourrage, ensilage) ;
- De l'ingestion de sol.

On suppose que toute la nourriture ingérée par l'animal provient de la zone de retombées maximales : pas d'apports extérieurs à cette zone (cas très pénalisant et irréaliste).

Les concentrations de polluant dans les différents produits sont obtenues à l'aide d'équations faisant intervenir les coefficients de biotransfert dans les produits animaux.

Les valeurs choisies dans la littérature pour les substances traceurs du risque sont portées dans le tableau ci-après.

Nous avons utilisé les mêmes sources que pour le choix des facteurs de bioconcentration, à savoir le document HHRAP et les notes techniques de l'IRSN<sup>2</sup> pour les **métaux lourds**.

<sup>2</sup>IRSN, Merle-Szeremera, Rommens - *Description du calcul des activités dans les différents compartiments de l'environnement terrestre*, Note technique SEGR/SAER/99 n°35.

IRSN, Rommens - *Etude bibliographique et choix des données par défaut pour les logiciels de calcul des impacts dosimétriques*, Note Technique SEGR/SAER/97 – 25 Indice 2, Mai 1998.



**Tableau 4 : Coefficients de biotransfert dans les produits animaux (données de la littérature)(Ba exprimés par rapport à la masse fraîche de produit)**

Substance	Unité	Ba				Source biblio
		bœuf	lait	volaille	œuf	
<b>Cadmium (Cd)</b>	j/kg frais	1,20E-04	6,50E-06	1,06E-01	2,50E-03	HHRAP 2005
<b>Nickel (Ni)</b>	j/kg frais	6,00E-03	1,00E-03	5,00E-03	4,00E-01	HHRAP 2005
						IRSN
<b>Plomb (Pb)</b>	j/kg frais	3,00E-04	2,50E-04	1,20E+00	1,20E+00	HHRAP 2005
						IRSN

#### ➤ Transfert vers la viande de bœuf

Les concentrations dans la viande bovine sont estimées à partir de la quantité de polluant ingéré par l'animal. Le régime alimentaire d'un bœuf est constitué essentiellement d'herbe (fourrage et ensilage).

A l'aide des concentrations en polluants dans ces aliments calculées précédemment, nous obtenons la concentration dans la viande de bœuf par l'équation suivante :

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

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

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

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

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

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

$B_s$  : facteur de biodisponibilité ( $B_s = 1$ )

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

Les paramètres relatifs au boeuf sont les suivants :

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

$Q_s = 0,5$  kg sec/j

#### **Exemple de calcul :**

##### **Cas du nickel et de la viande de bœuf**

- concentration calculée dans le 1<sup>er</sup> centimètre de sol:  $C_s = 2,30 \cdot 10^{-2}$  mg/kg

- concentration en nickel dans l'herbe :  $C_{\text{herbe}} = 1,02 \cdot 10^{-4}$  mg/kg

- facteur de biotransfert pour la viande de bœuf :  $Ba_{\text{boeuf}} = 6 \cdot 10^{-3}$  j/kg frais

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

-  $Q_s = 0,5$  kg/j

$C_{\text{boeuf}} = (60 \times 1,02 \cdot 10^{-4} + 0,5 \times 2,30 \cdot 10^{-2}) \times 6 \cdot 10^{-3} = 1,06 \cdot 10^{-4}$  mg/kg frais

#### ➤ Transfert vers le lait

Les concentrations dans le lait sont estimées à partir de la quantité de polluant ingérée par l'animal. Le régime alimentaire d'une vache est identique à celui du bœuf.

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

A l'aide des concentrations en polluants dans ces aliments calculées précédemment, nous obtenons la concentration dans le lait par l'équation suivante :

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

$C_{\text{lait}}$  : concentration dans le lait (mg/l de lait)

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

$C_{\text{herbe}}$  : concentration en polluant dans l'herbe de pâturage ingérée par l'animal (mg/kg)

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

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

$B_s$  : facteur de biodisponibilité ( $B_s = 1$ )

$Ba_{\text{lait}}$  : facteur de biotransfert pour le lait (j/l)

Les paramètres relatifs à la vache laitière sont les suivants :

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

$Q_s = 0,64$  kg sec/j

#### **Exemple de calcul :**

##### **Cas du nickel et du lait**

- concentration calculée dans le 1<sup>er</sup> centimètre de sol:  $C_s = 2,30 \cdot 10^{-2}$  mg/kg

- concentration en nickel dans l'herbe :  $C_{\text{herbe}} = 1,02 \cdot 10^{-4}$  mg/kg

- facteur de biotransfert pour le lait :  $Ba_{\text{lait}} = 1,00 \cdot 10^{-3}$  j/kg frais

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

-  $Q_s = 0,64$  kg/j

$C_{\text{lait}} = (80 \times 1,02 \cdot 10^{-4} + 0,64 \times 2,30 \cdot 10^{-2}) \times 1,00 \cdot 10^{-3} = 2,29 \cdot 10^{-5}$  mg/kg frais

#### ➤ **Transfert vers la viande de volaille**

Les concentrations dans la viande de volaille sont estimées à partir de la quantité de polluant ingéré par l'animal. Le régime alimentaire d'une volaille est constitué essentiellement de céréales.

A l'aide des concentrations en polluants dans ces aliments calculées précédemment, nous obtenons la concentration dans la viande de volaille par l'équation suivante :

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

$C_{\text{volaille}}$  : concentration dans la viande (mg/kg de viande fraîche)

$Q_{\text{céréales}}$  : quantité totale de céréales ingérée quotidiennement par l'animal (kg frais/j)

$C_{\text{céréales}}$  : concentration en polluant dans les céréales ingérées par l'animal (mg/kg)

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

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

$B_s$  : facteur de biodisponibilité ( $B_s = 1$ )

$Ba_{\text{volaille}}$  : facteur de biotransfert pour la viande de volaille (j/kg frais)

Les paramètres relatifs aux volailles sont les suivants :

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

$Q_s = 0,02$  kg sec/j

**Exemple de calcul :****Cas du nickel et de la viande de volaille**

- concentration calculée dans le 1<sup>er</sup> centimètre de sol:  $C_s = 2,30.10^{-2}$  mg/kg
- concentration en nickel dans les céréales :  $C_{\text{céréales}} = 6,09.10^{-6}$  mg/kg
- facteur de biotransfert pour la viande de volaille :  $Ba_{\text{volaille}} = 5,00.10^{-3}$  j/kg frais
- $Q_{\text{céréales}} = 0,2$  kg frais/j
- $Q_s = 0,02$  kg/j
- $C_{\text{volaille}} = (0,2 \times 6,09.10^{-6} + 0,02 \times 2,30.10^{-2}) \times 5,00.10^{-3} = 2,31.10^{-6}$  mg/kg frais

**➤ Transfert vers les oeufs**

Les concentrations dans les oeufs sont estimées à partir de la quantité de polluant ingéré par l'animal.

A l'aide des concentrations en polluants dans la viande de volaille calculées précédemment, nous obtenons la concentration dans les oeufs par l'équation suivante :

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

$C_{\text{oeuf}}$  : concentration dans les oeufs (mg/kg d'œuf frais)

$Q_{\text{céréales}}$  : quantité totale de céréales ingérée quotidiennement par l'animal (kg frais/j)

$C_{\text{céréales}}$  : concentration en polluant dans les céréales ingérées par l'animal (mg/kg)

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

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

$B_s$  : facteur de biodisponibilité ( $B_s = 1$ )

$Ba_{\text{oeuf}}$  : facteur de biotransfert pour les œufs (j/kg frais)

**Exemple de calcul :****Cas du nickel et des œufs**

- concentration calculée dans le 1<sup>er</sup> centimètre de sol:  $C_s = 2,30.10^{-2}$  mg/kg
- concentration en nickel dans les céréales :  $C_{\text{céréales}} = 6,09.10^{-6}$  mg/kg
- facteur de biotransfert pour les œufs :  $Ba_{\text{oeuf}} = 4,00.10^{-1}$  j/kg frais
- $Q_{\text{céréales}} = 0,2$  kg frais/j
- $Q_s = 0,02$  kg/j
- $C_{\text{oeuf}} = (0,2 \times 6,09.10^{-6} + 0,02 \times 2,30.10^{-2}) \times 4,00.10^{-1} = 1,85.10^{-4}$  mg/kg frais

**Tableau 5 : Contamination des produits d'origine animale (mg/kg frais)**

Substance	Viande de boeuf	Viande de volaille	Lait	Oeufs
Cadmium (Cd)	4,60E-07	7,17E-06	3,26E-08	1,69E-07
Nickel (Ni)	1,06E-04	2,31E-06	2,29E-05	1,85E-04
Plomb (Pb)	3,47E-05	3,56E-03	3,75E-05	3,56E-03

Bondues	Etude du Risque Sanitaire Aménagement et Renouvellement du site Desbonnets triangle De Gaulle Bosquiel
---------	---

## 2.4. Détermination des doses d'exposition

La Dose Journalière d'Exposition (DJE), exprimée en mg/kg.j, représente la quantité de polluant administrée. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$DJE_{ij} = (C_i \times Q_j) \times (F / P) \times (T / T_m) \times f_{ik}$$

Avec :

DJE<sub>ij</sub> : dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie d'exposition j (en mg/kg.j)

C<sub>i</sub> : concentration d'exposition relative au milieu i

Q<sub>j</sub> : quantité de milieu administrée par la voie j par jour

F : fréquence d'exposition = nombre de jours d'exposition par an / 365 (sans unité)

P : poids corporel de la cible (kg)

T : durée d'exposition (années)

T<sub>m</sub> : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années)

f<sub>ik</sub> : fraction d'aliment k du milieu i provenant de la zone d'exposition

Le calcul de la DJE s'applique à chacune des substances, considérées l'une après l'autre.

Nous nous plaçons dans le cas d'une exposition 24h/24 sur la vie entière, prise conventionnellement égale à 70 ans, ce qui conduit à : F= 1 et T/T<sub>m</sub> = 1.

L'équation devient donc dans notre cas :

$$DJE_{ij} = (C_i \times Q_j) / P \times f_{ik}$$

Des Doses Journalières d'Exposition (DJE), sont calculées pour les différentes filières de la chaîne alimentaire, à partir de scénarios de consommation de produits alimentaires et des concentrations dans les aliments.

Dans le cas présent, la chaîne alimentaire est représentée par la consommation de sol, de végétaux (légumes, fruits) et de produits d'origine animale.

Du fait de l'exposition à des métaux lourds, en particulier le plomb auquel les enfants sont particulièrement sensibles, nous établirons deux scénarios de consommation alimentaire : adulte et enfant de 6 ans. Les calculs s'appuieront sur les poids corporels suivants :

Les calculs s'appuieront sur les poids corporels suivants (source banque de données CIBLEX) :

- enfants : poids corporel de 17,2 kg,
- adultes : poids corporel de 62,6 kg.

### ➤ Ingestion directe de sol

La DJE liée à la consommation de sol a été calculée au niveau de la zone de retombée maximale : cas très pénalisant et irréaliste où l'on considère que la population est exposée 24h/24, vie entière dans cette zone.

### Consommation journalière de sol :

Les données de l'EPA (Exposure Factors Handbook) mettent en évidence une large fourchette de valeurs de consommation journalière de sol pour les enfants et les adultes, selon les études considérées.

Les deux valeurs moyennes choisies pour cette ERS sont celles retenues par l'INERIS :

- enfants : 150 mg/j,
- adultes : 50 mg/j.

### Calcul des DJE liées à la consommation de sol :

Rappel : Ces DJE sont calculées pour une exposition au niveau de la zone de retombées maximales et à partir des concentrations modélisées dans le 1<sup>er</sup> cm de sol.

#### **Exemple de calcul :**

##### **Cas du nickel ; scénario enfant**

- Concentration modélisée en nickel dans le 1<sup>er</sup> cm de sol =  $2,30.10^{-2}$  mg/kg<sub>sol sec</sub>
  - Quantité journalière ingérée =  $150.10^{-6}$  kg/j
  - Poids corporel de l'enfant = 17,2 kg
  - $f_{sol} = 1$
- DJE =  $2,30.10^{-2} \times 150.10^{-6} / 17,2 = 2,01.10^{-7}$  mg/kg.j

#### ➤ Ingestion de végétaux (légumes et fruits)

### Consommation journalière de légumes et fruits :

La consommation moyenne de légumes et fruits en France figure dans le tableau ci-dessous. Ces données sont issues de la banque de données CIBLEX. Nous avons moyenné les valeurs indiquées par classe d'âge pour se ramener à nos deux cas : adulte et enfant de moins de 6 ans.

#### Consommation de légumes et fruits

Végétal	Consommation enfant	Consommation adulte
	(g/j)	(g/j)
<b>Légume racine</b>	67,73	94,27
<b>Légume feuille</b>	19,91	44,14
<b>Légume fruit</b>	28,64	39,05
<b>Fruits</b>	86,81	141,54

Nous nous plaçons dans l'hypothèse où l'ensemble des aliments consommés sont supposés provenir de la zone de retombées maximales.

### Calcul des DJE liées à la consommation de légumes et fruits :

#### **Exemple de calcul :**

##### **Cas du nickel, scénario enfant**

- DJE légumes racines =  $1,84.10^{-6}$  mg/kg  $\times$   $67,73.10^{-3}$  kg/j / 17,2 kg =  $7,25.10^{-9}$  mg/kg.j
- DJE légumes feuilles =  $1,79.10^{-5}$  mg/kg  $\times$   $19,91.10^{-3}$  kg/j / 17,2 kg =  $2,07.10^{-8}$  mg/kg.j
- DJE légumes fruits =  $2,02.10^{-6}$  mg/kg  $\times$   $28,64.10^{-3}$  kg/j / 17,2 kg =  $3,36.10^{-9}$  mg/kg.j
- DJE fruits =  $8,72.10^{-6}$  mg/kg  $\times$   $86,81.10^{-3}$  kg/j / 17,2 kg =  $4,4.10^{-8}$  mg/kg.j
- DJE tot. végétaux =  $\Sigma$  (DJE légumes et fruits) =  $7,53.10^{-8}$  mg/kg.j

➤ **Ingestion de produits d'origine animale (viande, produits laitiers, œufs)**

**Consommation journalière de produits d'origine animale :**

La consommation moyenne de produits d'origine animale en France figure dans le tableau ci-dessous. Ces données sont issues de la banque de données CIBLEX.

Nous avons moyenné les valeurs indiquées par classes d'âge pour se ramener à nos deux cas : adulte et enfant de moins de 6 ans.

Produits d'origine animale	Consommation enfant	Consommation adulte
	(g/j)	(g/j)
Viande (sauf volailles)	55,13	69,99
Viande de volailles	25,56	48,7
Produits laitiers	374,29	302,87
Œufs	16,92	27,64

Nous nous plaçons dans l'hypothèse où l'ensemble des aliments consommés sont supposés provenir de la zone de retombées maximales.

**Calcul des DJE liées à la consommation de produits d'origine animale :**

**Exemple de calcul :**

**Cas du nickel, scénario enfant**

DJE viande	= $1,06 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg} \times 55,13 \cdot 10^{-3} \text{ kg/j} / 17,2 \text{ kg} = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ mg/kg.j}$
DJE volaille	= $2,31 \cdot 10^{-6} \text{ mg/kg} \times 25,56 \cdot 10^{-3} \text{ kg/j} / 17,2 \text{ kg} = 3,43 \cdot 10^{-9} \text{ mg/kg.j}$
DJE produits laitiers	= $2,29 \cdot 10^{-5} \text{ mg/kg} \times 374,29 \cdot 10^{-3} \text{ kg/j} / 17,2 \text{ kg} = 4,99 \cdot 10^{-7} \text{ mg/kg.j}$
DJE œufs	= $1,85 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg} \times 16,92 \cdot 10^{-3} \text{ kg/j} / 17,2 \text{ kg} = 1,82 \cdot 10^{-7} \text{ mg/kg.j}$
DJE tot. produits	= $\Sigma (\text{DJE viande, volaille, lait, œufs}) = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ mg/kg.j}$

➤ **DJE totale (sol + végétaux + produits issus d'animaux)**

A partir des DJE calculées précédemment, il est possible de construire les scénarios d'exposition enfant et adulte.

**Exemple de calculs :**

**Cas du nickel, scénario enfant (avec ingestion directe de terre et avec l'ensemble des fruits, légumes et produits d'origine animale)**

$$\text{DJE}_{\text{totale}} = \text{DJE}_{\text{ingestion sol}} + \text{DJE}_{\text{ingestion végétaux}} + \text{DJE}_{\text{ingestion produits animaux}} \\ = 2,01 \cdot 10^{-7} + 7,53 \cdot 10^{-8} + 1,02 \cdot 10^{-6} = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ mg/kg.j}$$

**Tableau 7 : DJE totales en fonction des 2 scénarii enfants / adultes**

Substance	Enfant				Adulte			
	DJE sol	DJE végétaux	DJE animaux	DJE totale	DJE sol	DJE végétaux	DJE animaux	DJE totale
Cadmium (Cd)	2,87E-08	3,64E-08	1,30E-08	7,80E-08	2,63E-09	1,63E-08	6,32E-09	2,53E-08
Nickel (Ni)	2,01E-07	7,53E-08	1,02E-06	1,30E-06	1,84E-08	2,87E-08	3,13E-07	3,60E-07
Plomb (Pb)	1,29E-06	5,19E-07	9,72E-06	1,15E-05	1,18E-07	1,96E-07	4,56E-06	4,88E-06