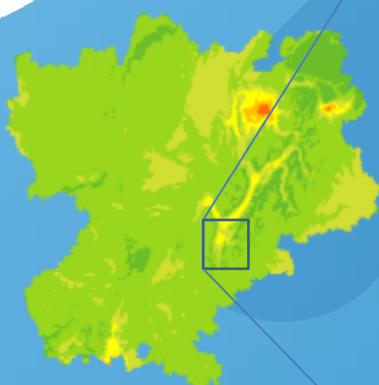


# Sud Grenoblois

## Modélisation de la qualité de l'air



**SUD GRENOBLOIS - 2014**

[www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)



**Diffusion : Octobre 2014**

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON

Tel : 09 72 26 48 90 - Fax : 09 72 15 65 64

[contact@air-rhonealpes.fr](mailto:contact@air-rhonealpes.fr)





## CONDITIONS DE DIFFUSION

Air Rhône-Alpes est une association de type « *loi 1901* » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (*décret 98-361 du 6 mai 1998*) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de *l'article L.220-1 du Code de l'environnement*. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de *l'article L.220-2 du Code de l'Environnement*.

Air Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site [www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Air Rhône-Alpes. Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Air Rhône-Alpes (2014) Sud grenoblois – Modélisation de la qualité de l'air** ».

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Air Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Air-Rhône-Alpes :

- depuis le formulaire de contact sur le site [www.air-rhonealpes.fr](http://www.air-rhonealpes.fr)
- par mail : [contact@air-rhonealpes.fr](mailto:contact@air-rhonealpes.fr)
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Un questionnaire de satisfaction est également disponible en ligne à l'adresse suivante <http://www.surveymonkey.com/s/ecrits> pour vous permettre de donner votre avis sur l'ensemble des informations mis à votre disposition par l'observatoire Air Rhône-Alpes.

Cette étude d'amélioration de connaissances a été rendue possible grâce à l'aide financière particulière de la DREAL Rhône-Alpes. Toutefois, elle n'aurait pas pu être exploitée sans les données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Air Rhône-Alpes.

# Sommaire



1. Contexte et objectifs .....	5
2. Description de la zone d'étude et données d'entrée .....	6
2.1. Domaine d'étude.....	6
2.2. Topographie.....	7
2.3. Météorologie .....	8
2.3.1. Modèle WRF.....	8
2.3.1. Configuration WRF .....	9
2.4. Émissions prises en compte .....	11
2.4.1. Composés étudiés .....	11
2.4.2. Méthodologie.....	11
2.4.3. Grandes sources ponctuelles .....	12
2.4.4. Sources surfaciques (cadastre des émissions) .....	14
2.4.5. Bilan des émissions .....	15
3. Modélisation .....	16
3.1. Modèle et méthodes .....	16
3.2. Caractéristiques des composés .....	18
3.3. Résultats attendus.....	18
3.3.1. Hypothèses de calcul et limites .....	19
4. Résultats .....	20
4.1. Statistiques sur l'ensemble du domaine .....	20
4.1.1. Statistiques en Air ambiant .....	20
4.1.2. Statistiques dans les retombées atmosphériques.....	21
4.2. Poussières en suspension (PM10) .....	22
4.3. Oxydes d'azote (NOx) .....	23
4.4. Benzène (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) .....	25
4.5. Métaux lourds.....	26
4.5.1. Concentrations moyennes annuelles en air ambiant.....	26
4.5.2. Concentrations moyennes annuelles dans les retombées atmosphériques.....	31
4.6. Dioxines (PCDD/F) .....	35
4.6.1. Concentration moyenne annuelle en air ambiant .....	35
4.6.2. Concentrations moyennes annuelles dans les retombées atmosphériques.....	36
4.7. Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.....	37
4.7.1. Benzo(a)pyrène .....	37
4.7.2. Naphtalène.....	38
5. Conclusions .....	39

## Annexes

ANNEXE 1 : DETAIL DES EMISSIONS SURFACIQUES .....	41
ANNEXE 2 : SITES DE MESURES D'AIR RHONE-ALPES .....	42



# Résumé



Dans le cadre de l'amélioration de ses outils de modélisation, Air Rhône-Alpes a souhaité acquérir et développer ses compétences sur un nouvel outil, ARIA Impact 3D, afin de mieux prendre en compte les sources ponctuelles, notamment dans les zones dites « multi-émettrices ».

Cette étude a pour objectifs principaux de :

- produire des cartes de concentrations moyennes annuelles de plusieurs polluants atmosphériques, à l'aide d'un modèle de dispersion lagrangien en 3 dimensions,
- d'explorer le champ d'application du modèle et d'identifier les paramètres d'entrée à intégrer,
- d'évaluer les temps de calcul et les moyens informatiques nécessaires à la production de cartographies de plusieurs composés dans une zone multi émettrice.

Ce nouvel outil de modélisation a ainsi été mis en œuvre pour 1<sup>ère</sup> fois dans le cadre de cette étude et a permis de réaliser la modélisation de la dispersion atmosphérique de 11 composés pour l'année 2011, sur un domaine d'environ 400 km<sup>2</sup> (19x18km).

Par ailleurs, les travaux réalisés ont permis de tirer des enseignements pour la mise en place et l'amélioration d'une chaîne de modélisation pour les zones multi émettrices :

- **Adaptation du modèle** aux composés ciblés: Le modèle utilisé dans le cadre de cette étude n'est pas adapté aux espèces très réactives telles que le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>).
- **Taille du domaine** : le domaine considéré dans cette étude est très étendu et contient par conséquent un nombre important de sources. Ceci a engendré la mise à disposition de moyens de calculs conséquents, qui nécessiteraient d'être optimisés pour une utilisation ultérieure.
- **Traitement géostatistique** sur les résultats bruts issus du modèle : ce traitement montre que les mesures réalisées le cadre du suivi environnemental des installations du secteur ne sont pas forcément intégrables en l'état dans le cadre d'une modélisation. La mise en place de mesures spécifiques permettant ce post-traitement doit donc encore accompagner les travaux de modélisation.
- **Améliorer et valider les données d'entrée** concernant certaines sources ponctuelles : il est nécessaire de recueillir à la fois les flux et les paramètres d'émission, car ceux-ci ont une influence importante sur la dispersion associée.
- **Prise en compte des apports extérieurs au domaine et d'autres paramètres relatifs aux composés**: La modélisation de certains composés, dont les dioxines, nécessite la prise en compte de processus physiques qui ne sont pas forcément intégrés dans le calcul de dispersion. Les apports extérieurs et la remise en suspension sont deux facteurs non négligeables pour ce type de composés.

Le travail réalisé par Air Rhône-Alpes dans le cadre de cette étude a ainsi permis de réaliser une cartographie des composés sur la zone du Sud Grenoblois pour l'année 2011. Toutefois, les résultats de la modélisation ne sont parfois pas en accord avec les concentrations observées dans ce secteur, notamment sur les valeurs maximales. Cette cartographie nécessite encore des ajustements sur les données d'entrée, la mise en œuvre de la chaîne de modélisation et le traitement géostatistique, afin de pouvoir évaluer au mieux l'exposition de la population sur cette zone.



# 1. Contexte et objectifs

Parmi ses outils de surveillance de la qualité de l'air, Air Rhône-Alpes met en œuvre des modèles de dispersion atmosphérique qui viennent compléter les mesures. La modélisation permet une représentation spatiale, sous forme de cartes, des concentrations des composés sur un large domaine. Elle nécessite des **données d'entrée** qui sont ensuite utilisées dans un **modèle de dispersion** qui va générer des **cartes de concentration (dans l'atmosphère ou de dépôts au sol)** (Figure 1).



FIGURE 1 PRINCIPE DE LA MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

La modélisation est utilisée à des fins d'amélioration des connaissances sur les teneurs actuelles et passées mais aussi pour des perspectives à différentes échéances. Croisée à l'information sur la répartition de la population, la modélisation permet notamment d'évaluer l'exposition de la population à ces composés.



Actuellement, Air Rhône-Alpes met en œuvre des modèles essentiellement régionaux, urbains ou inter-urbains pour lesquels la précision apportée à certaines sources, dont les sources ponctuelles, reste perfectible. De plus, ces modèles concernent essentiellement un spectre de composés limités à ceux réglementés en air ambiant (dioxyde d'azote, particules, ozone).

Air Rhône-Alpes a donc souhaité acquérir et développer des compétences sur un modèle spécifiquement dédié aux environnements multi émetteurs et qui lui permette d'élargir le champ des composés. Pour ce faire, Air Rhône-Alpes a acquis un modèle développé et commercialisé par la société ARIA Technologie<sup>1</sup> « ARIA Impact 3D™ ». La mise en œuvre de ce modèle dans le cadre de cette étude, concernant la zone du Sud Grenoblois, constitue la 1<sup>ère</sup> utilisation de cet outil.

## Cette étude a pour principaux objectifs :

- **d'explorer le champ d'application d'un modèle de dispersion lagrangien en 3 dimensions,**
- **d'identifier et de dimensionner les paramètres à intégrer en entrée du modèle,**
- **d'évaluer le temps de calcul et les moyens informatiques nécessaires à la production de cartographies de plusieurs composés dans une zone multi émettrice.**

<sup>1</sup> ARIA Technologies: <http://www.aria.fr/>

## 2. Description de la zone d'étude et données d'entrée

### 2.1. Domaine d'étude

Le domaine d'étude se situe dans la zone sud de l'agglomération grenobloise. Il correspond à une surface rectangulaire de 19 km (Est-Ouest) par 18 km (Nord-Sud) (Figure 2). En termes de surface couverte par un modèle, c'est un domaine très grand, similaire à celui d'autres études de zone comme l'étude de zone de Roussillon (20x20km).

Le domaine d'étude est appelé « sud grenoblois » dans la suite du présent rapport.

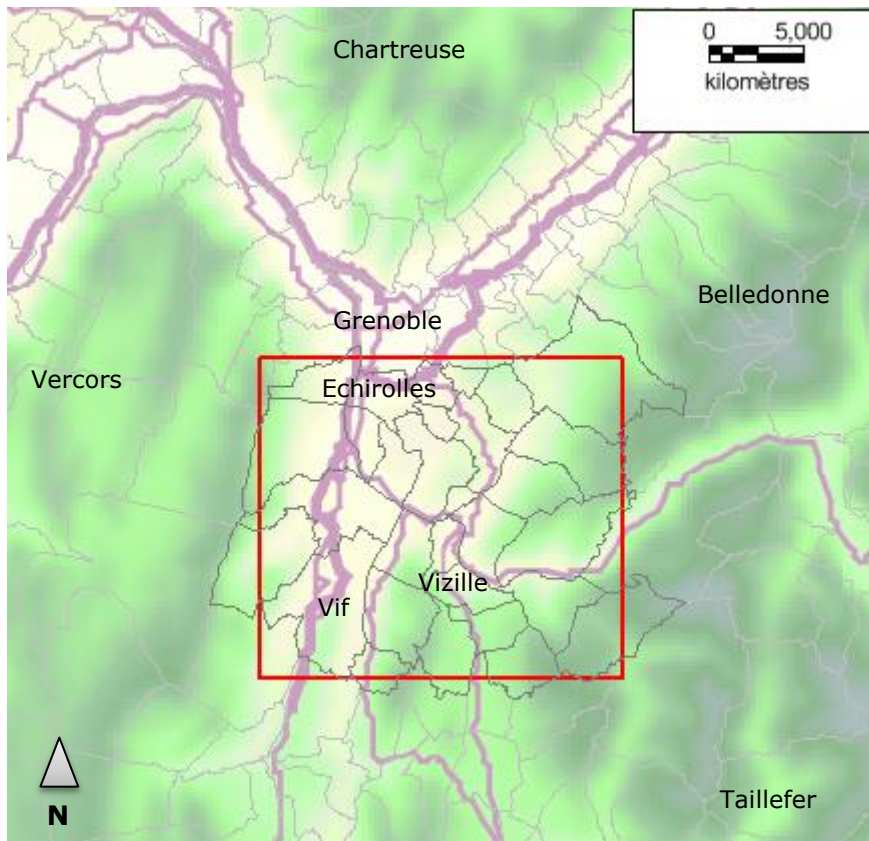


FIGURE 2 DOMAINE D'ETUDE – RECTANGLE ROUGE DE 19x18KM DE COTE

Ce domaine inclut 30 communes représentant une population totale d'environ 128 000 habitants. Les communes les plus peuplées dans cette zone sont Echirolles, Le Pont de Claix, Vif et Vizille (Tableau 1).

Commune	Code INSEE	Population 2011
BRESSON	38057	692
BRIE-ET-ANGONNES	38059	2452
CHAMPAGNIER	38068	1286
CHAMP-SUR-DRAC	38071	3113
CHOLONGE	38106	326
CLAIX	38111	7565
ECHIROLLES	38151	35995
EYBENS	38158	9728
HERBEYS	38188	1349
JARRIE	38200	3845
LAFFREY	38203	393
MONTCHABOUD	38252	368
LA MORTE	38264	155
NOTRE-DAME-DE-COMMIERS	38277	467
NOTRE-DAME-DE-MESAGE	38279	1200
POISAT	38309	2070
LE PONT-DE-CLAIX	38317	11152
SAINT-BARTHELEMY-DE-SECHILIENNE	38364	479
SAINT-GEORGES-DE-COMMIERS	38388	2115
SAINT-JEAN-DE-VAULX	38402	549
SAINT-MARTIN-D'URIAGE	38422	5460
SAINT-PAUL-DE-VARCES	38436	2240
SAINT-PIERRE-DE-MESAGE	38445	727
SECHILIENNE	38478	954
SEYSSINS	38486	6887
VARCES-ALLIERES-ET-RISSET	38524	6403
VAULNAVEYS-LE-BAS	38528	1194
VAULNAVEYS-LE-HAUT	38529	3597
VIF	38545	8014
VIZILLE	38562	7725

TABLEAU 1 LISTE DES 30 COMMUNES COMPRISES DANS LE DOMAINE D'ETUDE

Cette zone est une zone multi émettrice où l'on retrouve l'ensemble des sources contribuant aux émissions de composés présents dans l'atmosphère.

## 2.2. Topographie

La zone du sud grenoblois se caractérise par une topographie très prononcée avec plusieurs massifs montagneux bordant le domaine : le massif du Vercors à l'Ouest, le massif de Belledonne au Nord Est et à l'Est et le massif du Taillefer au Sud Est.

Cette topographie induit une dynamique atmosphérique très complexe qui a incité Air Rhône-Alpes à mettre en œuvre un modèle de dispersion en trois dimensions, comme Aria Impact 3D.

La topographie a été intégrée dans le calcul de dispersion à l'aide d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) avec une résolution horizontale de 100 mètres (Figure 3).

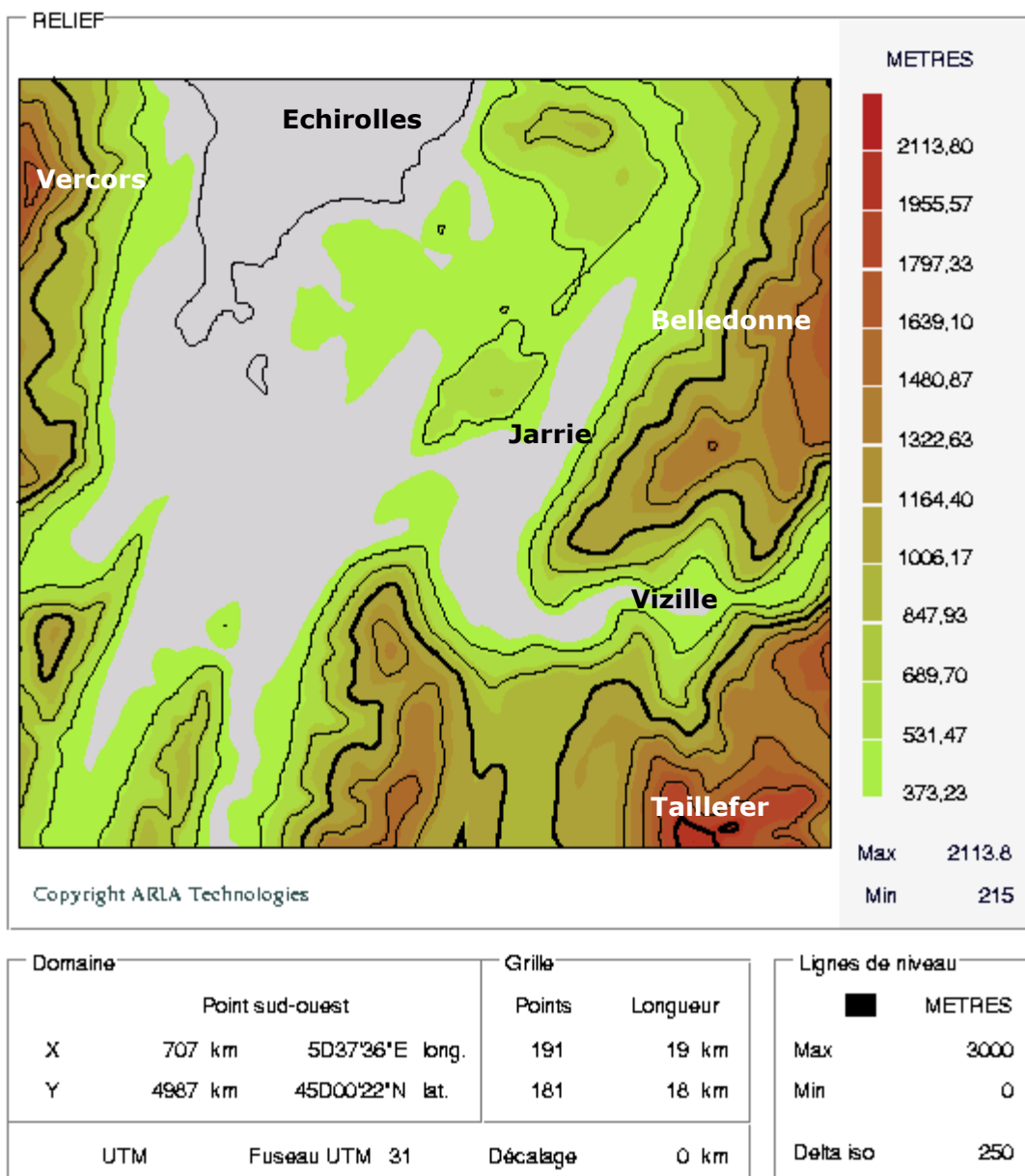


FIGURE 3 TOPOGRAPHIE DU DOMAINE – SOURCE : IGN BD ALTI

## 2.3. Météorologie

### 2.3.1. Modèle WRF

WRF est un **modèle météorologique** d'accès libre, parallélisé, en développement continu depuis 7 ans environ et qui reprend les principes de MM5<sup>2</sup>. Il bénéficie de la très large expérience acquise par la communauté météorologique internationale. A la méso-échelle (intermédiaire entre l'échelle du globe ~100km et l'échelle locale ~100m), il convient de résoudre les équations de la mécanique des fluides, en version compressible, adaptée à la spécificité atmosphérique. L'orographie à haute résolution joue un rôle majeur sur les écoulements dans la couche limite atmosphérique et tous les phénomènes physiques doivent être considérés explicitement ou en les paramétrant : interaction sol /

<sup>2</sup> PSU/NCAR Mesoscale Model 5th generation. MM5 Community Model Homepage. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>







La comparaison modèle/mesures pour les stations proches du domaine sud grenoblois montre des écarts moyens absolus faibles (Tableau 3) et du même ordre de grandeur pour des stations aussi bien en altitude qu'en vallée.

Écarts absolu moyen	T2 (°C)	HR2 (%)	Vitesse du vent (m/s)
<b>MF-Versoud</b>	1.3	17	1
<b>MF-Villard-de-Lans</b>	1.8	11	1.4
<b>MF-Chamrousse</b>	2	12	1.6
<b>Peuil de Claix</b>	1.5	x	X

TABLEAU 3 : COMPARAISON MODELE WRF ET MESURE S DES STATIONS METEOROLOGIQUES PROCHES DU DOMAINES SUD GRENOBLOIS

## 2.4. Émissions prises en compte

### 2.4.1. Composés étudiés

La liste des composés faisant l'objet du calcul de dispersion comprend **11 composés** (Tableau 4). Elle concerne essentiellement des composés faisant l'objet d'une réglementation en air ambiant ainsi que dans les retombées et/ou pour lesquels Air Rhône-Alpes dispose de valeurs mesurées dans le domaine d'étude.

Composés retenus pour la modélisation		Nature	Existence de mesures
<b>Polluants réglementés</b>	PM10	Particules	Air ambiant
<b>Polluants réglementés</b>	Oxydes d'azote (NOx)	Gaz	Air ambiant
<b>Polluants réglementés</b>	Benzène (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Gaz	Non
<b>Métaux lourds</b>	Arsenic (As) Cadmium (Cd) Mercure (Hg) Nickel (Ni) Plomb (Pb)	Particules	Air ambiant & retombées
<b>Dioxines et furanes</b>	PCDD/PCDF	Particules	Air ambiant & retombées
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)</b>	Benzo(a)pyrène Naphtalène	Particules	Non

TABLEAU 4 LISTE DES COMPOSES FAISANT L'OBJET D'UN CALCUL DE DISPERSION

### 2.4.2. Méthodologie

**Les émissions prises en compte dans la simulation correspondent à l'ensemble des émissions connues dans le domaine d'étude :**

- Cadastre d'émission d'Air Rhône-Alpes pour l'année 2011
- Données d'émissions issues de l'étude de zone en cours dans le secteur (intégrées comme sources surfaciques ou ponctuelles)

Le trafic automobile a été intégré dans le cadastre surfacique. L'intégration du réseau routier sous forme linéique n'a pas été réalisée car celle-ci aurait considérablement augmenté le nombre de sources à prendre en compte et par conséquent le temps de calcul.

Pour certaines industries, les données du cadastre Air Rhône-Alpes ont été remplacées par celles récupérées dans le cadre de l'étude de zone du Sud grenoblois (ICPE, industries pour lesquelles il existe un suivi régulier des émissions atmosphériques).. Ces données permettent une meilleure caractérisation de ces sources :

- **localisation géographique** précise des émissaires, cheminées, etc.
- **caractéristiques physiques d'émission** (hauteur de cheminée, température d'éjection, etc...)
- **flux d'émission** : données précises issues de mesures, dates des périodes de fonctionnement

En effet, pour ces industries, Air Rhône-Alpes ne disposait jusqu'à présent, que de données partielles ne permettant pas une bonne prise en compte de ces sources dans la modélisation.

L'ensemble des émissions ont ensuite fait l'objet de deux traitements distincts dans leur intégration au modèle de calcul (Tableau 5).

Secteur d'activité	Origine des données	Prises en compte dans le calcul de dispersion
<b>Transport (routier, ferroviaire)</b>	Cadastre d'Air Rhône-Alpes	Cadastre kilométrique (sur une surface de 19x18km) Modulation temporelle par secteur d'activité
<b>Résidentiel &amp; Tertiaire</b>		
<b>Agriculture</b>		
<b>Industriel (hors Grandes sources ponctuelles)</b>		
<b>Industriel (Grandes Sources Ponctuelles)</b>	Données récupérées dans le cadre de l'étude de zone	Sources ponctuelles ou surfaciques localisées à la source Modulation temporelle déclarée par les industriels

TABLEAU 5 EMISSIONS PRISES EN COMPTE DANS LE CALCUL DE DISPERSION

### 2.4.3. Grandes sources ponctuelles

Douze entreprises du secteur industriel ont été intégrées sous formes ponctuelles (Figure 5).

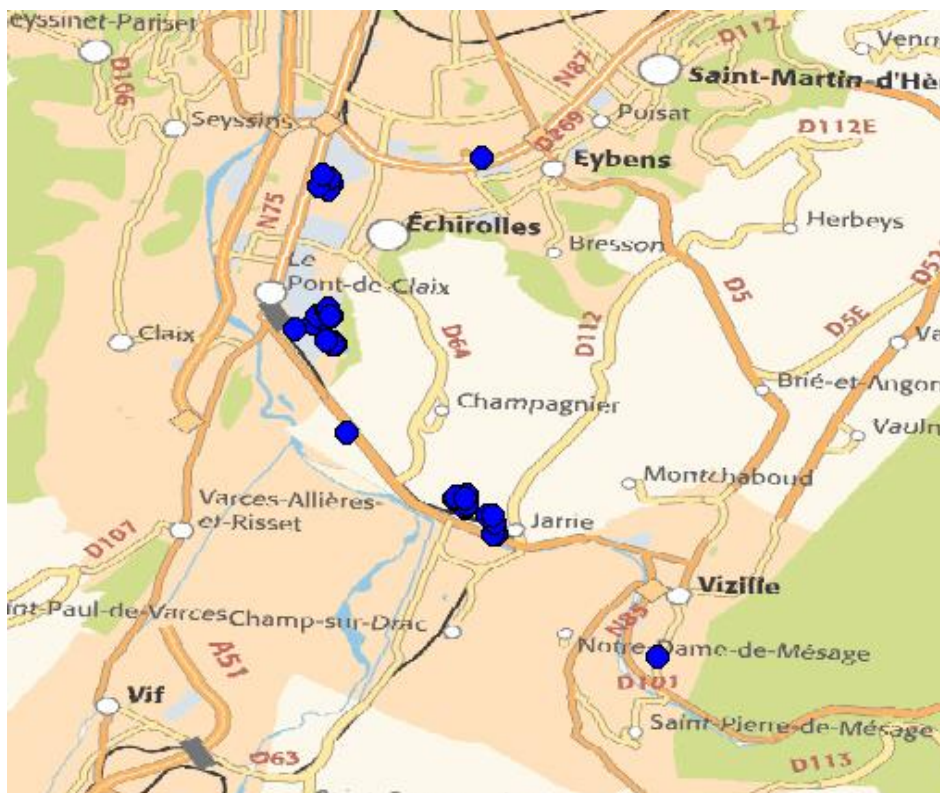


FIGURE 5 SOURCES INDUSTRIELLES PRISES EN COMPTE SOUS FORME PONCTUELLE

Ces douze entreprises représentent 32 sources canalisées (ou émissaires) et 2 sources surfaciques (Tableau 6).

Commune	Entreprise	Nombre d'émissaires	Nombre de sources surfaciques
Champagnier	GME	1	0
Echirolles	Caterpillar	5	1
Eybens	CCIAG	1	0
Jarrie	Arkema	1	1
Jarrie	Cezus	10	0
Jarrie	RSA	1	0
Pont de Claix	Air Liquide	1	0
Pont de Claix	Isochem	2	0
Pont de Claix	Sita	2	0
Pont de Claix	Solvay	6	0
Pont de Claix	Vencorex	1	0
Vizille	Vicat	1	0
<b>Total</b>		<b>32</b>	<b>2</b>

TABEAU 6 NOMBRE DE SOURCES PONCTUELLES ET SURFACIQUES INDUSTRIELLES PRISES EN COMPTE POUR LA MODELISATION

#### 2.4.4. Sources surfaciques (cadastre des émissions)

Le reste des émissions a été intégré sous forme surfacique avec des mailles de 1km (Figure 6). Chaque maille possède donc une valeur d'émission par polluant, correspondant à la quantité totale de polluants émise en 2011 sur la maille. Le détail des secteurs d'activité pris en compte dans le calcul des émissions est disponible en annexe de ce document.

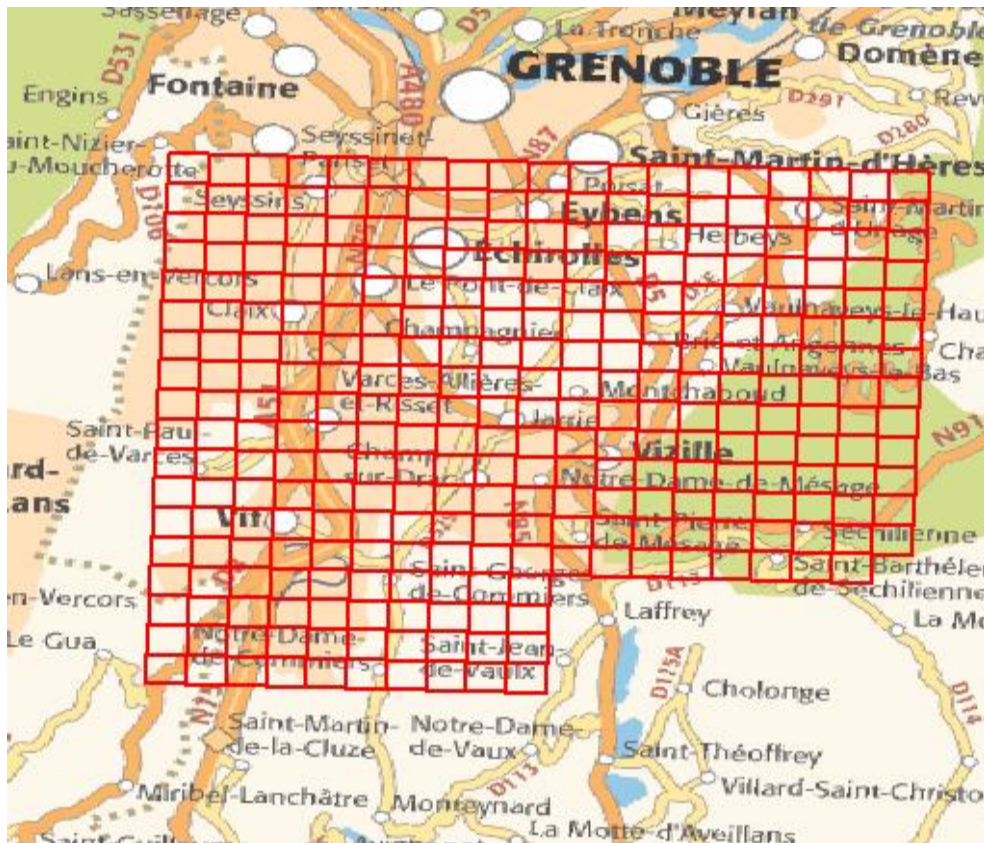


FIGURE 6 GRILLE DU CADASTRE DES EMISSIONS PRIS EN COMPTE POUR LA MODELISATION

Ce cadastre d'émissions peut donc être décliné pour chacun des onze composés modélisés et en particulier pour les NOx et PM10 (Figure 7).

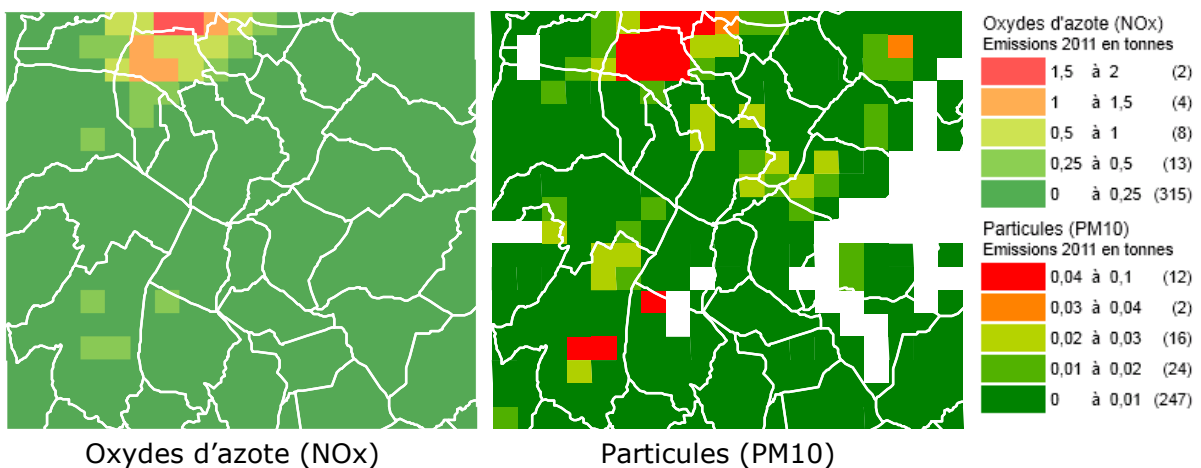


FIGURE 7 CADASTRE KILOMETRIQUE DES EMISSIONS DE NOX ET PM10 DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011

Ce cadastre a aussi été modulé temporellement afin de prendre en compte les variations des émissions des différents secteurs d'activité. Selon le secteur d'activité considéré, la modulation peut être horaire, journalière, mensuelle ou les trois à la fois.

En effet, chaque secteur d'activité possède une modulation temporelle qui lui est propre. Par exemple, les émissions du trafic automobile prennent en compte les variations horaires et journalières du trafic automobile.

L'augmentation des émissions du secteur résidentiel en hiver avec le chauffage est prise en compte dans le calcul des émissions. L'émission annuelle du chauffage est modulée par un **ratio journalier** qui est fonction de la **température** (Figure 8).

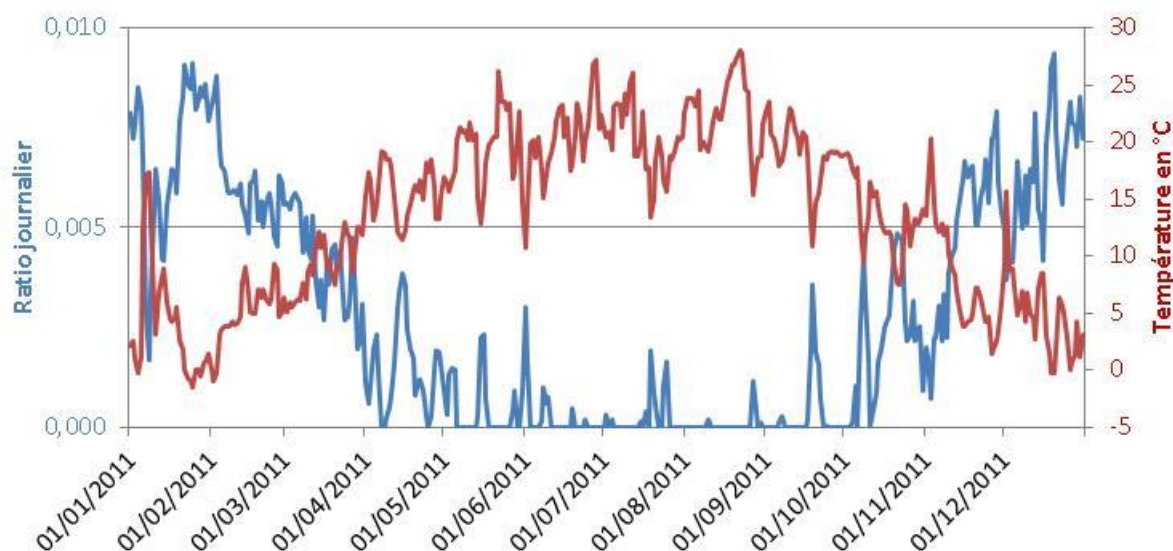


FIGURE 8 RATIO JOURNALIER APPLIQUE AUX EMISSIONS DU CHAUFFAGE ET TEMPERATURE JOURNALIERE A PONT DE CLAIX EN 2011

#### 2.4.5. Bilan des émissions

Le Tableau 7 dresse le bilan des émissions dans la zone du sud grenoblois. Selon le composé considéré, la répartition des émissions entre les sources surfaciques et les sources ponctuelles (GSP) est différente.

Ainsi, les émissions d'éléments traces métalliques (arsenic, cadmium, mercure, nickel et plomb) et de dioxines (PCDD/F) sont majoritairement issues de GSP.

Pour les autres composés (HAP, particules et oxydes d'azote), ce sont les sources surfaciques qui sont majoritaires.

Composés	Sources ponctuelles	Sources surfaciques	Total
Arsenic (As)	0.66E-03 (95,5%)	0.03E-03 (4,5%)	6,86E-02
Cadmium (Cd)	0.05E-03 (78,7%)	0.01E-03 (21,3%)	6,33E-03
Mercure (Hg)	0.02E-03 (66,4%)	9.59E-06 (33,6%)	2,85E-03
Nickel (Ni)	5.12E-03 (98,3%)	0.09E-03 (1,7%)	5,21E-01
Plomb (Pb)	5.23E-03 (92,2%)	0.44E-03 (7,8%)	5,67E-01
Dioxines (PCDD/F)	3.06E-09 (69,1%)	1.37E-09 (30,9%)	4,43E-07
Naphtalène	0.00E+00 (0,0%)	0.02E+00 (100%)	2,31E+00
Benzo(a)pyrène (BaP)	0.07E-06 (0,1%)	0.10E-03 (99,9%)	1,04E-02
Particules (PM10)	0.16E+00 (4,1%)	3.66E+00 (95,9%)	3,82E+02
Oxyde d'azote (NOX)	8.64E+00 (40,8%)	0.01E+03 (59,2%)	2,12E+03

TABLEAU 7 BILAN DES EMISSIONS DANS LA ZONE DU SUD GRENOBLOIS EN TONNES PAR AN

## 3. Modélisation

### 3.1. Modèle et méthodes

Dans le cadre de cette étude, Air Rhône-Alpes a mis en œuvre un des outils de modélisation élaborés par la société ARIA Technologies et a ensuite appliqué des traitements géostatistiques sur les résultats issus du modèle (krigeage sans variable auxiliaire).

L'outil de modélisation, ARIA Impact 3D™ inclut le modèle MICRO SWIFT SPRAY (MSS) qui permet de simuler la dispersion de composés à petite échelle, selon un modèle lagrangien à particules.

Ce modèle est largement utilisé dans la communauté scientifique. Il a été mis en œuvre notamment dans le cadre du suivi environnemental du Pays Roussillonnais dans le Nord Isère.

Le calcul de dispersion fait intervenir deux modèles numériques distincts et complémentaires :

- ✓ **SWIFT** : le modèle météorologique permettant de reconstituer à petite échelle les paramètres météorologiques influant sur la dispersion des composés (champs de vent, turbulence, gradient de température etc.)
- ✓ **SPRAY** : modèle lagrangien 3D permettant de calculer la dispersion des composés en 3D en calculant la trajectoire des composés à l'aide des paramètres météorologiques calculés par SWIFT

Ces deux modèles font partie d'une chaîne de modélisation qui les fait intervenir par étapes successives (Figure 9). Les étapes les plus importantes sont:

1. Modélisation météorologique 3D (**SWIFT**): le champ 3D des paramètres météorologiques (vent, température et turbulence) est recalculé à fine échelle (100m) sur l'ensemble du domaine et pour chaque échéance (horaire) à partir des données méso-échelle WRF.
2. Modélisation de la dispersion (**SPRAY**): Le champ 3D des paramètres météorologiques permet de modéliser les trajectoires des composés dont les concentrations sont calculées sur un champ 2D (au sol) pour chaque échéance
3. **Résultats bruts des concentrations** sur le domaine (Calcul statistique des concentrations et dépôts) : Les résultats de l'étape précédente sont compilés afin d'établir les cartes de concentration au sol des statistiques demandées (valeurs maximales, moyennes, etc.)
4. Cette chaîne de modélisation a été complétée par un post-traitement géostatistique a été réalisé sur les résultats bruts issus de SPRAY (en **orange**). La technique utilisée est le krigeage des mesures disponibles, sans variable auxiliaire<sup>8</sup>. Il s'agit d'une interpolation reposant sur l'autocorrélation spatiale. Cette méthode dite « exacte » permet de conserver la valeur originale des mesures aux stations.

---

<sup>8</sup> <http://fr.wikipedia.org/wiki/Krigeage>



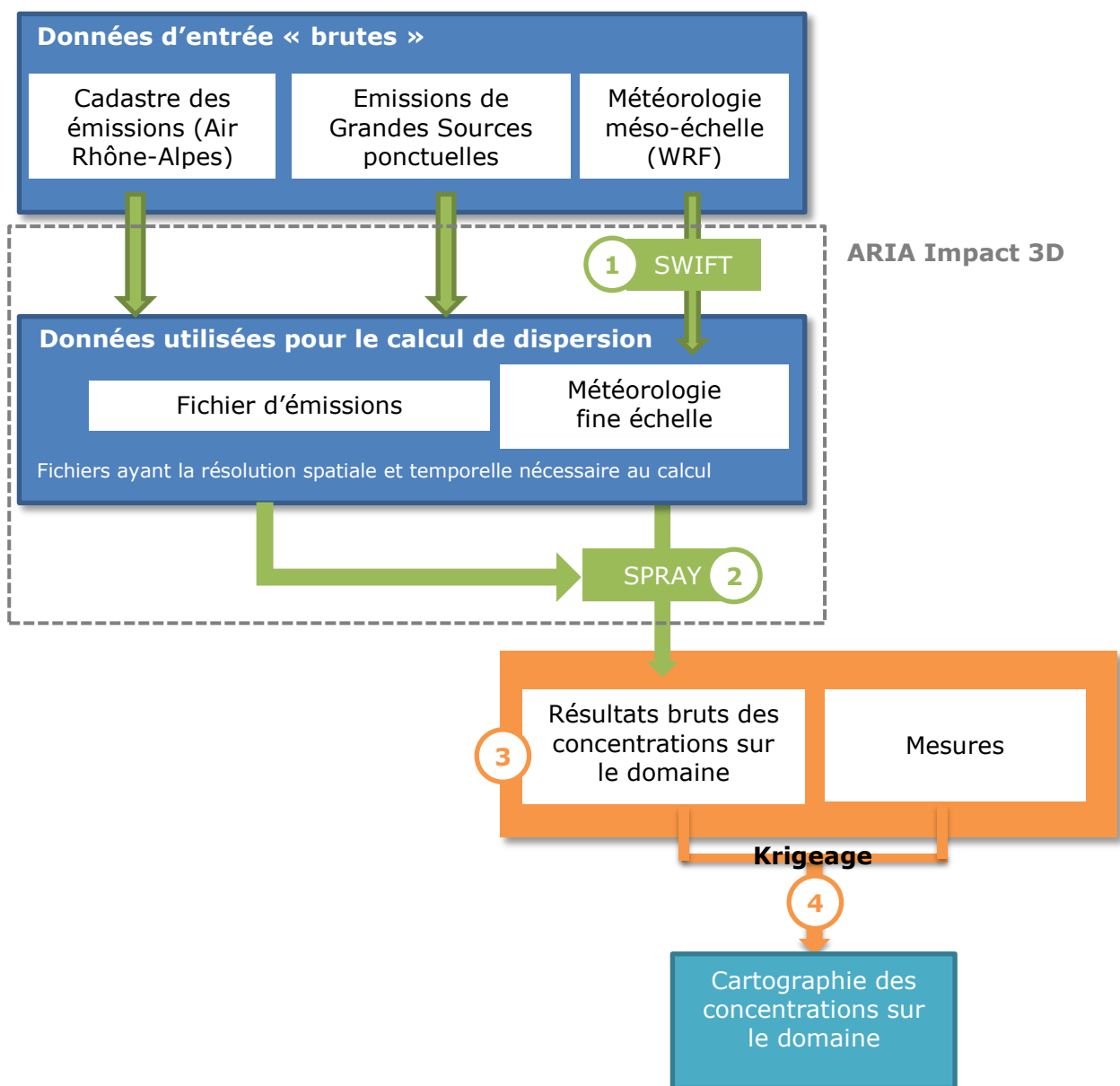


FIGURE 9 PRINCIPE DE LA CHAINE DE MODELISATION MISE EN PLACE DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE

Certaines émissions comme celles provenant du secteur résidentiel ou encore du trafic représentent un nombre important de sources. Elles sont habituellement modélisées à l'aide de modèles gaussiens pour limiter le temps de calcul. Dans le cadre de cette étude, ces sources ont aussi fait l'objet d'un calcul de dispersion à l'aide du modèle 3D lagrangien ARIA Impact 3D™.

## 3.2. Caractéristiques des composés

Le Tableau 8 récapitule les paramètres descriptifs des différents composés modélisés. Les paramètres retenus sont ceux habituellement utilisés dans ce genre d'études (phase, diamètre, vitesse de dépôt et coefficient de lessivage).

Composé	Phase	Diamètre de particules ( $\mu\text{m}$ )	Vitesse de dépôts secs ( $\text{cm/s}$ )	Coefficient de lessivage ( $\text{s}^{-1}$ )
<b>PM10</b>	Particules	10	1,3	4E-4
<b>Oxydes d'azote (NOx)</b>	Gaz	-	-	1E-5
<b>Benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)</b>	Gaz	-	-	1E-5
<b>Arsenic (As) Cadmium (Cd) Mercure (Hg) Nickel (Ni) Plomb (Pb)</b>	Particules	5	0,1	5E-5
<b>PCDD/PCDF</b>	Particules	1,3	0,05	1E-5
<b>Benzo(a)pyrène Naphthalène</b>	Particules	1,3	0,05	1E-5

TABLEAU 8 CARACTERISTIQUES RETENUES POUR LES COMPOSES MODELISES

Les diamètres des particules et les valeurs de vitesse de dépôts secs sont ceux habituellement utilisés. Ils sont issus :

- Pour les dioxines (PCDD/F) : « atmospheric particle size distributions of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) and aromatic hydrocarbons (PAHs) and their implications for wet and dry depositions », Heike Kaupp, Mickael S. Mc Lachlan, Atmospheric Environment Vol 33 (1999), 85-95 ;
- Pour les particules : « underwood, AEA Technology Harwell, 2001 : review of deposition velocity and washout coefficient » ;
- Pour les métaux lourds : "Empirical atmospheric deposition parameters – a survey, T.A McMahon, P.J Denison, Atmospheric Environment vol 13 (1979), 571-585.

## 3.3. Résultats attendus

Les livrables attendus dans le cadre de cette étude portent sur les concentrations en air ambiant et dans les retombées au sol de différents composés, en valeur moyenne annuelle et sur de courtes périodes. Ils sont listés tableau ci-dessous (Tableau 9).

Composés en air ambiant	Composés dans les retombées
<b>Particules (PM10)</b>	
<b>Oxydes d'azote (NOx)</b>	
<b>Benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)</b>	
<b>Métaux lourds</b> Arsenic (As), Cadmium (Cd), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb)	<b>Métaux lourds</b> : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Plomb (Pb)
<b>Dioxines et furanes (PCDD/F)</b>	<b>Dioxines et furanes (PCDD/F)</b>
<b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques</b> : Benzo(a)pyrène, naphatlène	

TABLEAU 9 LISTE DES COMPOSES PRIS EN COMPTE DANS L'ETUDE

La simulation de chacune de ces espèces a été réalisée pour chaque heure de l'année 2011 en 3D.

Malgré tout, l'étude spécifique sur une courte période n'a pas été faite faute de mesures représentatives permettant d'évaluer les résultats.

Les cartes présentées dans ce rapport concernent les cartographies moyennes annuelles 2D à la fois en air ambiant et les retombées au sol pour tous les composés. Ces résultats sont donc directement comparables aux valeurs réglementaires (objectif qualité et valeurs cibles présentés dans les tableaux suivants) et aux valeurs de référence:

Composés	Type de valeur	Valeur	Unité	Période
<b>Particules (PM10)</b>	Valeur limite	<b>40</b>	µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
<b>Oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>)</b>	Seuil de protection de la végétation	<b>40</b>	µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
<b>Arsenic (As)</b>	Valeur cible	<b>6</b>	ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
<b>Cadmium (Cd)</b>	Valeur cible	<b>5</b>	ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
<b>Nickel (Ni)</b>	Valeur cible	<b>20</b>	ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
<b>Plomb (Pb)</b>	Valeur limite pour la protection de la santé	<b>500</b>	ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
	Objectif de qualité	<b>250</b>	ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
<b>Dioxines (PCDD/F)</b>	Valeur de référence <sup>9</sup>	<b>0,04</b>	pg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
<b>Benzo(a)Pyrène (BaP)</b>	Valeur cible	<b>1</b>	ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
<b>Benzène</b>	Objectif de qualité	<b>2</b>	µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle

TABLEAU 10 VALEURS REGLEMENTAIRES ET VALEURS DE REFERENCE EN AIR AMBIANT

Composés	Type de valeur	Valeur	Unité	Période
<b>Arsenic (As)</b>	Valeur allemande - TA Luft	<b>4000</b>	ng/m <sup>2</sup> /jour	Moyenne annuelle
<b>Cadmium (Cd)</b>	Valeur allemande - TA Luft	<b>2000</b>	ng/m <sup>2</sup> /jour	Moyenne annuelle
<b>Nickel (Ni)</b>	Valeur allemande - TA Luft	<b>15000</b>	ng/m <sup>2</sup> /jour	Moyenne annuelle
<b>Plomb (Pb)</b>	Valeur allemande - TA Luft	<b>100000</b>	ng/m <sup>2</sup> /jour	Moyenne annuelle
<b>Dioxines (PCDD/F)</b>	Valeur de référence <sup>10</sup>	<b>40</b>	ng/m <sup>2</sup> /jour	Moyenne annuelle

TABLEAU 11 VALEURS REGLEMENTAIRES ET VALEURS DE REFERENCE DANS LES RETOMBES ATMOSPHERIQUES

### 3.3.1. Hypothèses de calcul et limites

Pour les sources industrielles, les données d'émission sont exprimées en oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et en poussières totales (TSP).

Une des limites du modèle utilisé est de ne pas prendre en compte la chimie des NO<sub>x</sub> : les oxydes d'azote sont considérés comme des espèces passives et équivalentes au dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Le modèle ARIA Impact 3D<sup>TM</sup> n'est donc pas approprié pour la modélisation du NO<sub>2</sub>.

<sup>9</sup> Valeur de référence définie en Rhône-Alpes dans le cadre du programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds

<sup>10</sup> Valeur de référence définie en Rhône-Alpes dans le cadre du programme de surveillance des dioxines et des métaux lourds

Pour les poussières, une approximation est faite pour les PM10 qui sont considérées comme équivalentes au TSP. Ceci conduit à un biais de « surestimation » des concentrations modélisées de PM10.

## 4. Résultats

Les cartes présentées peuvent avoir deux formats qui se distinguent uniquement par la construction de leur échelle:

- Format « **réglementaire** » lorsqu'un dépassement aura été constaté sur le domaine. Pour ce type de carte, l'échelle de la légende est construite à partir de la valeur réglementaire ou de référence du composé considéré. Les zones en **rouge** correspondent à un dépassement de la valeur réglementaire ou de référence
- Format « **dispersion** » lorsqu'aucun dépassement n'aura été constaté sur le domaine. Pour ce type de carte, l'échelle de la légende n'est pas linéaire et est construite à partir du maximum des concentrations afin de mieux visualiser la dispersion des composés.

### 4.1. Statistiques sur l'ensemble du domaine

#### 4.1.1. Statistiques en Air ambiant

Le Tableau 12 présente les principales statistiques des concentrations en air ambiant modélisées sur l'ensemble du domaine ainsi que les valeurs réglementaires ou de référence.

Comme nous le verrons par la suite, les cartes modélisées présentent des zones où les valeurs réglementaires ne sont pas respectées. Ces dépassements ne concernent qu'une petite partie du domaine globalement moins de 25% du domaine.

Polluants retenus pour la modélisation		Valeur air ambiant	Unité de valeur	MIN	PERC 25	PERC 50	PERC 75	MAX
Polluants réglementés	PM10	<b>40</b>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,1	13,8	18,1	21,9	<b>45,7</b>
Polluants réglementés	Oxydes d'azote (NOx)	<b>40<sup>11</sup></b>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0	10,0	16,3	25,2	<b>338,2</b>
Polluants réglementés	Benzène (C6H6)	<b>2</b>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,0	0,0	0,1	0,3	<b>5,5</b>
Métaux lourds	Arsenic (As)	<b>6</b>	$\text{ng}/\text{m}^3$	0,000	0,05	0,10	0,23	1,80
	Cadmium (Cd)	<b>5</b>	$\text{ng}/\text{m}^3$	0,000	0,01	0,03	0,07	0,34
	Mercure (Hg)	<b>30</b>	$\text{ng}/\text{m}^3$	0,000	0,06	0,19	0,44	<b>4133</b>
	Nickel (Ni)	<b>20</b>	$\text{ng}/\text{m}^3$	0,004	0,52	0,78	1,71	8,95
	Plomb (Pb)	<b>250</b>	$\text{ng}/\text{m}^3$	0,000	0,71	1,37	3,13	19,72
Dioxines et furanes	PCDD/PCDF	<b>0,04</b>	$\text{pg-ITEQ}/\text{m}^3$	0,000	0,00	0,00	0,01	<b>0,11</b>
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)	Benzo(a)pyrène	<b>1</b>	$\text{ng}/\text{m}^3$	0,004	0,17	0,30	0,43	<b>1,81</b>

TABLEAU 12 PRINCIPALES STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS MODELISEES SUR LE DOMAINE D'ETUDE

<sup>11</sup> La valeur de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  est un seuil de protection de la végétation. Sa prise en compte est donc à modérer dans le cadre de l'interprétation des résultats de ce rapport.

### 4.1.2. Statistiques dans les retombées atmosphériques

Le Tableau 13 présente les principales statistiques des concentrations modélisées dans les retombées atmosphériques sur l'ensemble du domaine.

Comme pour l'air ambiant, la modélisation montre qu'il existe sur le domaine des zones où les valeurs de référence concernant les métaux lourds et les dioxines dans les retombées atmosphériques ne sont pas respectées.

Pour l'ensemble des composés, les dépassements de valeur de référence ne concernent qu'une petite partie du domaine (moins de 25%). En effet, plus de 75% du domaine présente des concentrations dans les retombées conformes aux valeurs de référence.

Polluants retenus pour la modélisation		Valeur retombées atmosphériques	Unité de valeur retombées	MIN	PERC 25	PERC 50	PERC 75	MAX
Métaux lourds	Arsenic (As)	<b>4</b>	µg/m <sup>2</sup> /jour	0	0	0,056	0,1936	<b>19,6</b>
	Cadmium (Cd)	<b>2</b>	µg/m <sup>2</sup> /jour	0	0,03	0,0504	0,1093	<b>4,9</b>
	Nickel (Ni)	<b>15</b>	µg/m <sup>2</sup> /jour	0,0339	0,8027	0,9119	1,1535	<b>49,04</b>
	Plomb (Pb)	<b>100</b>	µg/m <sup>2</sup> /jour	0	0,6098	1,1014	2,2787	95,6
Dioxines et furanes	PCDD/PCDF	<b>10E-6</b>	µg-ITEQ/m <sup>2</sup> /jour	0	0	0,3E-06	3,1E-06	<b>140E-6</b>

TABLEAU 13 PRINCIPALES STATISTIQUES DES CONCENTRATIONS MODELISEES DANS LES RETOMBES ATMOSPHERIQUES SUR LE DOMAINE D'ETUDE

## 4.2. Poussières en suspension (PM10)

La Figure 10 illustre la répartition des concentrations moyennes annuelles de PM10 sur le domaine d'étude. Les dépassements (valeurs supérieures à 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sont localisés essentiellement dans le sud de la commune de Grenoble en proximité de la rocade sud. En termes de surfaces concernées, ces dépassements représentent moins de 0,01% du domaine d'étude. 75% du domaine d'étude a une concentration moyenne annuelle inférieure à 22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

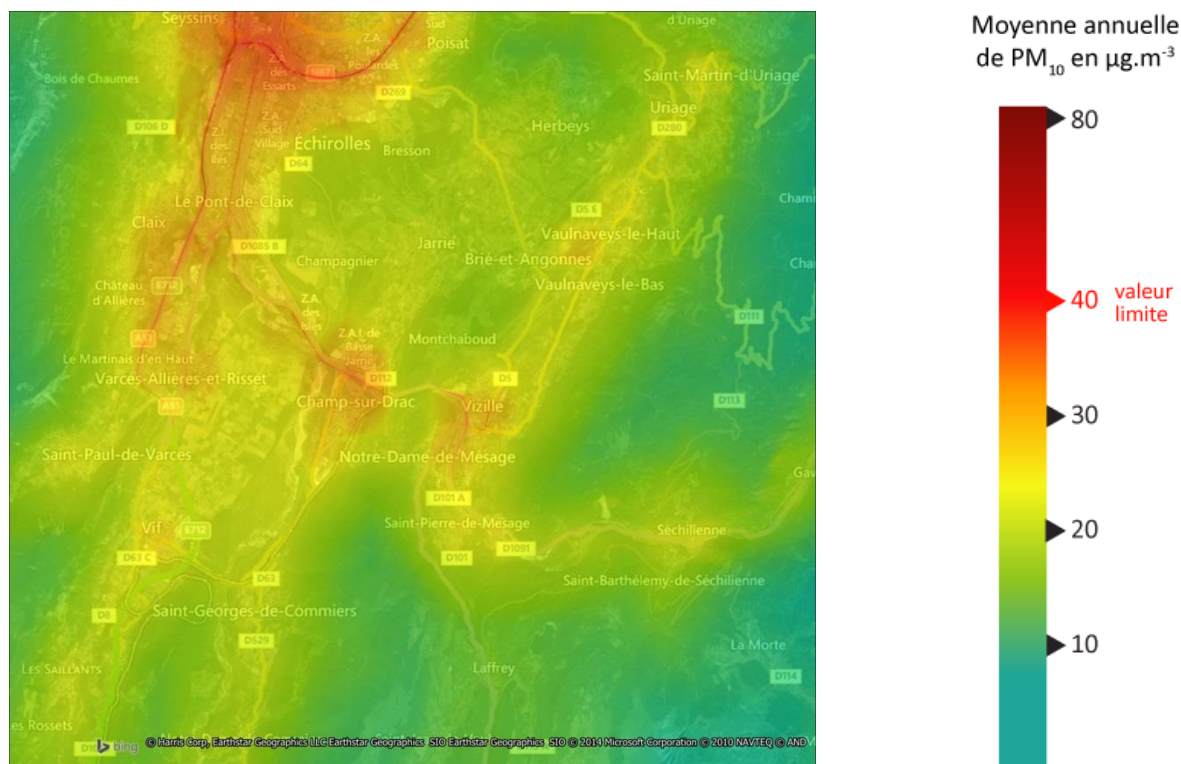


FIGURE 10 CARTE DE CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE EN PM10 EN  $\mu\text{G}/\text{M}^3$

Grâce au traitement géostatistique utilisé en fin de chaîne, les valeurs modélisées sont bien en accord avec les valeurs mesurées par Air Rhône-Alpes en 2011 dans le secteur du Sud Grenoblois (Tableau 14).

Les niveaux mesurés en site de fond sont conformes à la valeur limite alors que les niveaux mesurés en proximité automobile (Le Rondeau SF – Echirolles : station en proximité automobile) approchent cette valeur (Figure 26 Carte des stations de mesures d’Air Rhône-Alpes dans le Sud grenoblois en 2011).

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011	Unité
PM10	Le Rondeau SF - Echirolles	Air ambiant	35	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	Grenoble les Frênes	Air ambiant	26	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	Pont de Claix - Nord	Air ambiant	26	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	Jarrie - Nord	Air ambiant	25	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

TABLEAU 14 VALEURS MESUREES DE PARTICULES (PM10) EN 2011 DANS LA ZONE DU SUD GRENOBLOIS

### 4.3. Oxydes d'azote (NOx)

La Figure 11 illustre la répartition des concentrations moyennes annuelles de NOx sur le domaine d'étude. Les dépassements de la valeur de protection de la végétation (valeurs supérieures à  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sont localisés essentiellement dans le sud de la commune de Grenoble et dans la zone allant de Pont de Claix à Vizille.

Quatre zones à fortes concentrations se distinguent sur la Figure 11 (entourées par des rectangles noirs). Ces zones d'accumulation sont générées par la dynamique de l'écoulement atmosphérique modélisé à fine échelle par le module SWIFT d'ARIA Impact 3D™. Il s'agit de zones de stagnation du vent, typiques au pied des reliefs (en terme d'écoulement géophysique). Ces stagnations engendrent par la suite des accumulations de polluants à ces endroits. Les émissions en ces zones sont assez faibles, ce qui permet de confirmer que la concentration finale est liée à la dispersion des polluants. Cependant il est actuellement difficile, voire impossible, de trancher quant à la pertinence ou non de ces résultats. Il n'y a en effet jamais eu de mesures en ces points. Nous retrouverons par la suite ces mêmes zones d'accumulation, plus ou moins marquées selon l'espèce considérée.

L'ensemble des zones qui dépassent la valeur fixée à  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  représentent 8% du domaine. 75% du domaine d'étude a une concentration moyenne annuelle inférieure à  $26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

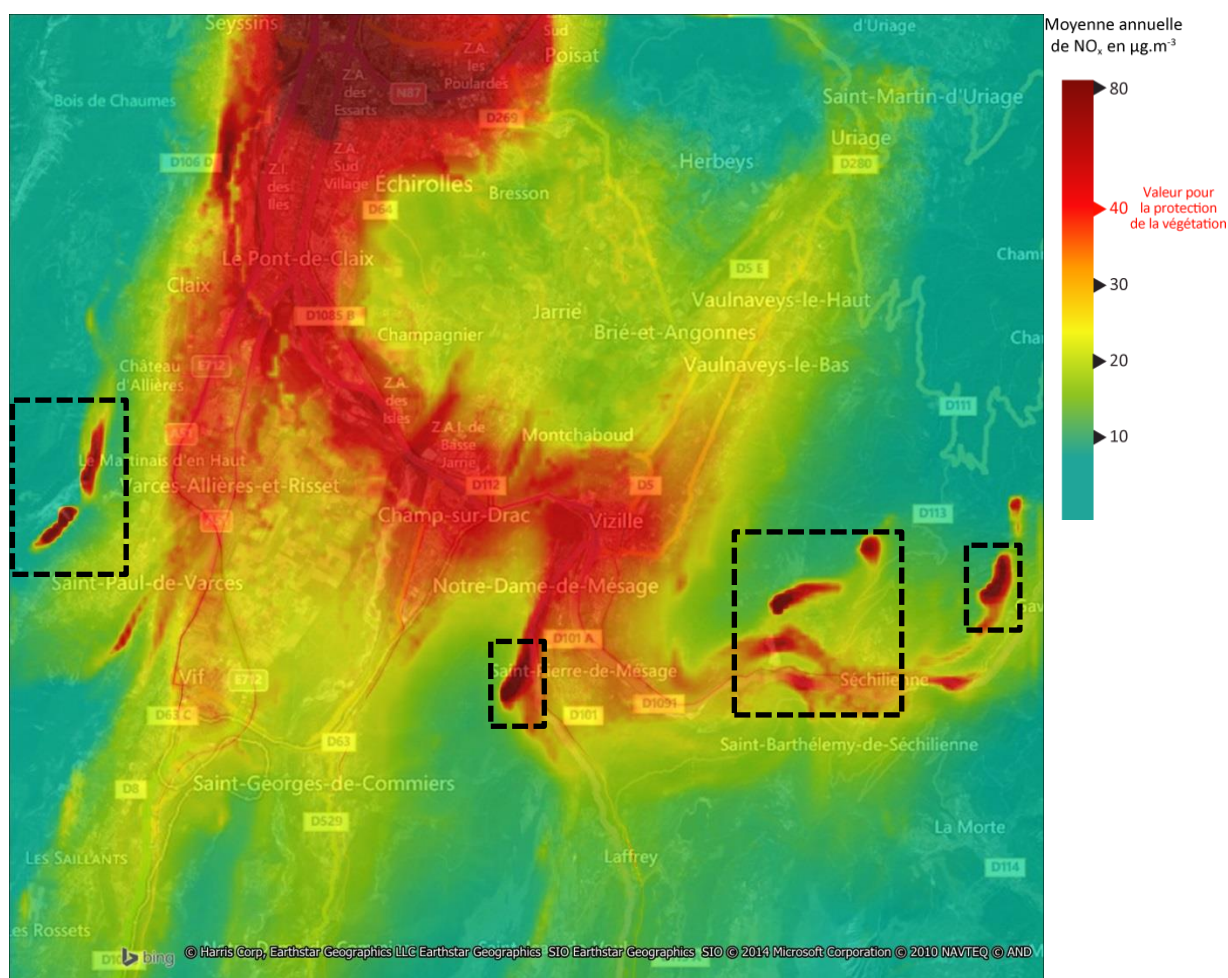


FIGURE 11 CARTE DE CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE EN OXYDE D'AZOTE (NOx) EN  $\mu\text{G}/\text{M}^3$





## 4.4. Benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

La Figure 12 illustre la répartition des concentrations moyennes annuelles de benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) sur le domaine d'étude. Comme évoqué pour les oxydes d'azote, la carte présente les mêmes zones d'accumulation. Elles conduisent à des dépassements de la valeur réglementaire (concentrations supérieures à 2 µg/m<sup>3</sup>). Les émissions de benzène sont faibles dans ces zones. Ces valeurs élevées sont donc le résultat du transport de panache et de l'accumulation plutôt que d'une émission locale.

L'ensemble des zones en dépassement de la valeur réglementaire représente moins de 0,04% du domaine. 75% du domaine d'étude présente une concentration moyenne annuelle inférieure à 0,3 µg/m<sup>3</sup>.

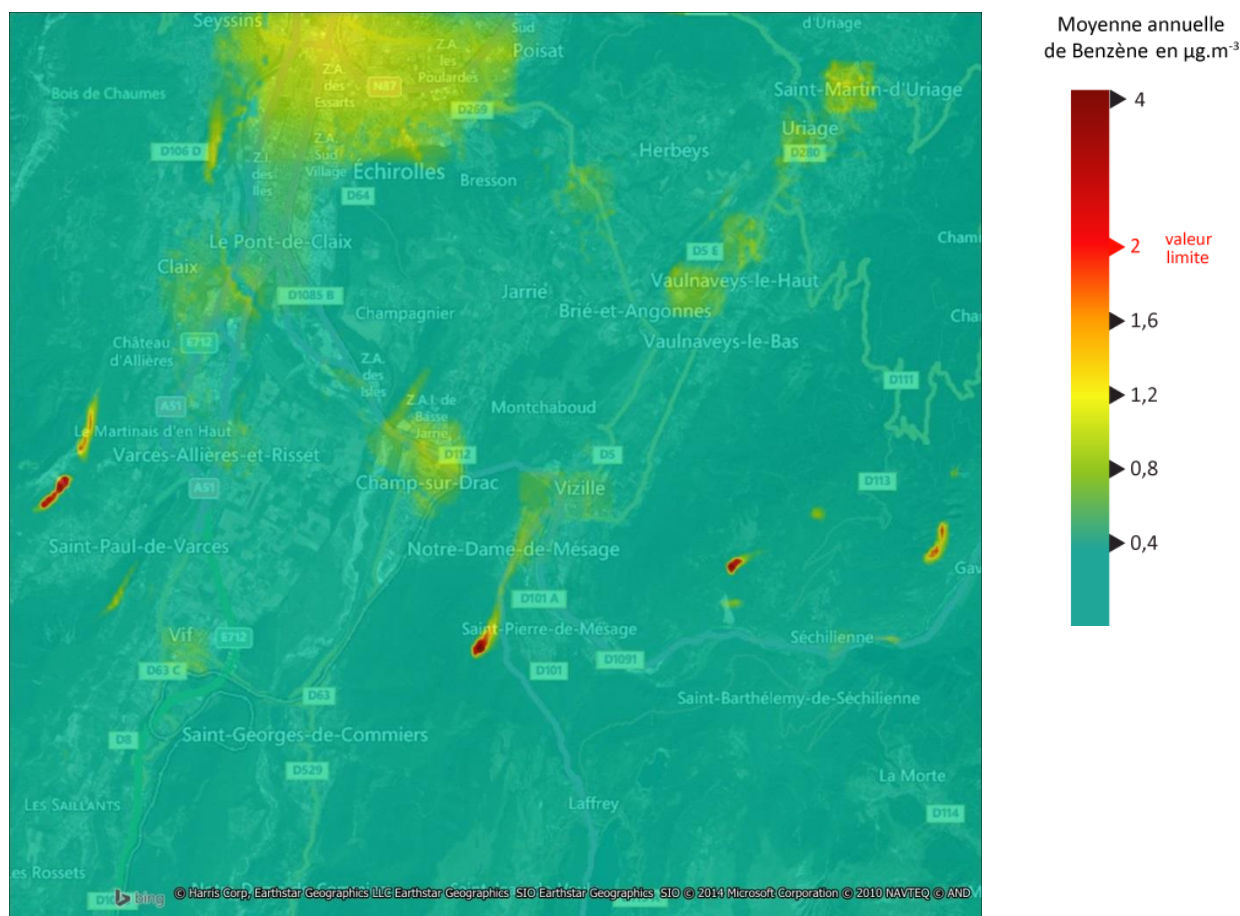


FIGURE 12 CARTE DE CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE EN BENZENE (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) EN µG/M<sup>3</sup>

Pour ce composé, aucun traitement géostatistique n'a été appliqué car la seule mesure disponible a été réalisée à Grenoble les Frênes, qui se situe au bord Nord du domaine. Néanmoins, les valeurs modélisées sont bien en accord avec les valeurs mesurées par Air Rhône-Alpes en 2011 dans le secteur du Sud Grenoblois présenté Tableau 16.

A noter également que la modélisation n'aboutit à aucun dépassement de cette valeur en site urbain de fond.

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011	Unité
Benzène	Grenoble les Frênes	Air ambiant	1,12	µg/m <sup>3</sup>

TABLEAU 16 VALEURS MESUREES EN BENZENE (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) EN 2011 DANS LE SUD GRENOBLOIS

## 4.5. Métaux lourds

### 4.5.1. Concentrations moyennes annuelles en air ambiant

#### - Arsenic, cadmium, nickel et plomb :

Les cartes illustrant les concentrations annuelles en 2011 de l'arsenic, du cadmium, du nickel et du plomb sont présentées ci-après (Figure 13 à Figure 16). Elles sont assez uniformes : les panaches liés aux principaux émetteurs se distinguent à peine.

Les Tableau 17 et Tableau 20 présentent les concentrations moyennes annuelles mesurées. Du fait du traitement géostatistique appliqué, les résultats aux sites de mesure correspondent à ceux mesurés.

Les concentrations simulées sont :

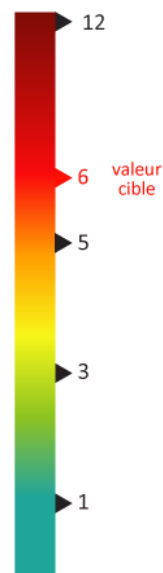
- inférieures à  $1 \text{ ng.m}^{-3}$  pour l'arsenic, le cadmium ;
- inférieures à  $50 \text{ ng.m}^{-3}$  pour le plomb ;
- inférieures à  $15 \text{ ng.m}^{-3}$  pour le nickel.

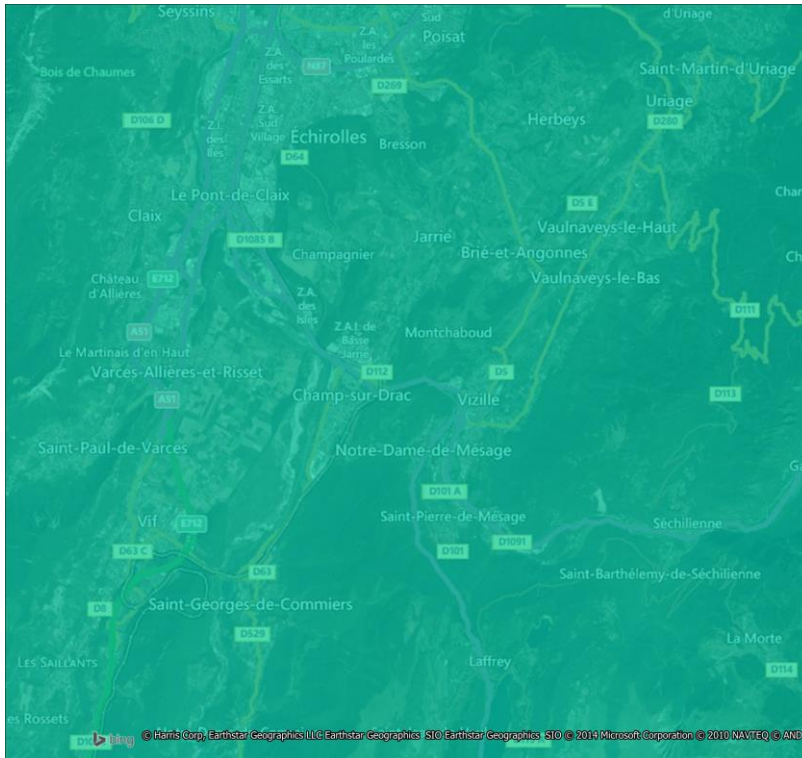
Ces cartes sont donc toutes largement inférieures aux valeurs de références et réglementaires (cf. Tableau 10 p19).



FIGURE 13 CARTE DE CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN ARSENIC

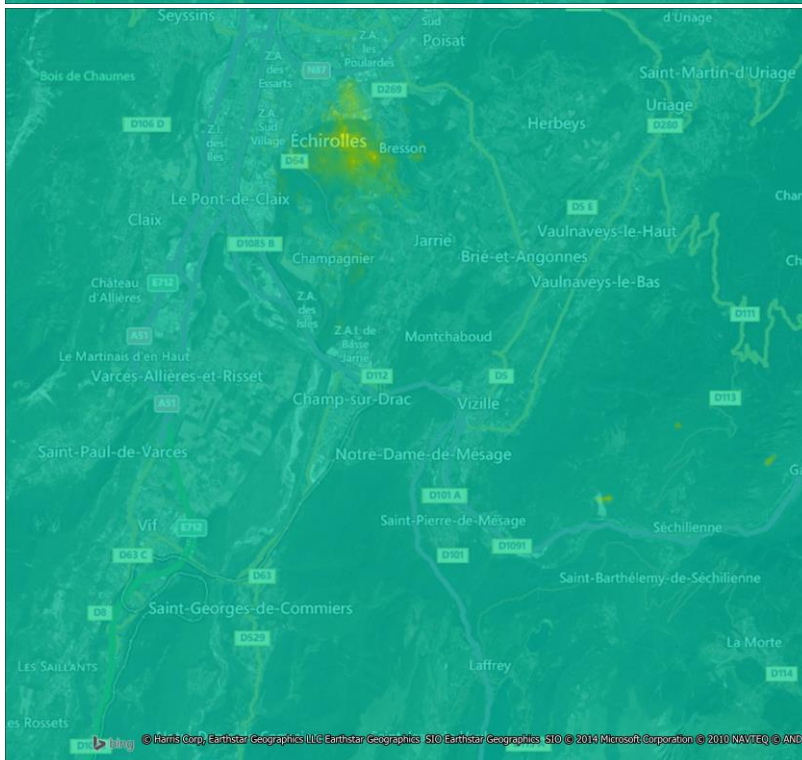
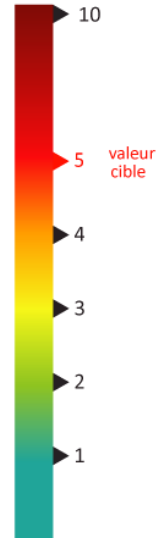
Moyenne annuelle d'Arsenic en  $\text{ng.m}^{-3}$





**FIGURE 14 CARTE DE CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN CADMIUM**

Moyenne annuelle de Cadmium en  $\mu\text{g.m}^{-3}$



**FIGURE 15 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN NICKEL EN AIR AMBIANT**

Moyenne annuelle de Nickel en  $\text{ng.m}^{-3}$

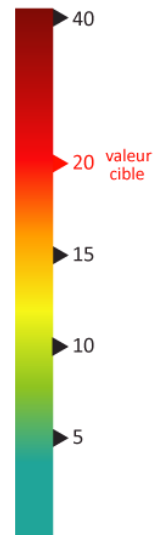
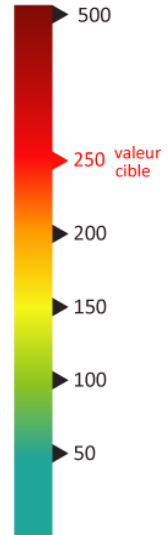




FIGURE 16 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN PLOMB EN AIR AMBIANT

Moyenne annuelle de Plomb en  $\mu\text{g.m}^{-3}$



Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011 (ng/m <sup>3</sup> )	Valeur cible (ng/m <sup>3</sup> )
Arsenic	Grenoble les Frênes	Air ambiant	0,695	6
Arsenic	Pont de Claix - Nord	Air ambiant	0,585	
Arsenic	Jarrie - Nord	Air ambiant	0,48	

TABLEAU 17 VALEURS MESUREES EN ARSENIC EN 2011 DANS LE SUD GRENOBLOIS

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011 (ng/m <sup>3</sup> )	Valeur cible (ng/m <sup>3</sup> )
Cadmium	Pont de Claix - Nord	Air ambiant	0,18	5
Cadmium	Grenoble les Frênes	Air ambiant	0,151	
Cadmium	Jarrie - Nord	Air ambiant	0,146	

TABLEAU 18 VALEURS MESUREES EN 2011 EN CADMIUM DANS LE SUD GRENOBLOIS

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011 (ng/m <sup>3</sup> )	Valeur cible (ng/m <sup>3</sup> )
Nickel	Grenoble les Frênes	Air ambiant	4,088	20
Nickel	Pont de Claix - Nord	Air ambiant	3,756	
Nickel	Jarrie - Nord	Air ambiant	3,728	

TABLEAU 19 VALEURS MESUREES EN NICKEL EN AIR AMBIANT DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011 (ng/m <sup>3</sup> )	Valeur cible (ng/m <sup>3</sup> )
Plomb	Grenoble les Frênes	Air ambiant	9.159	500
Plomb	Pont de Claix - Nord	Air ambiant	8,112	
Plomb	Jarrie - Nord	Air ambiant	5.02	

TABLEAU 20 VALEURS MESUREES EN PLOMB EN AIR AMBIANT DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011

- Mercur :

Les niveaux de mercure sont ponctuellement mesurés en proximité de l'émetteur principal depuis 2009. Ils sont présentés dans le tableau 21. Ils ne montrent pas de dépassement de la valeur toxicologique de référence pour ce composé.

La mesure de mercure réalisée dans le cadre de cette étude correspond uniquement à la partie particulaire de la concentration. Elle n'est donc pas complètement représentative de la concentration simulée. Les autres mesures disponibles ne sont quant à elles pas suffisamment représentatives de l'année 2011 pour être utilisées. La cartographie présentée Figure 17 n'utilise donc pas de traitement géostatistique. Elle présente des dépassements de la valeur de référence (30 ng/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle) centrés dans le secteur de Jarrie et Champ sur Drac. Ces fortes valeurs peuvent notamment provenir du manque de la description complète des émissions ou d'hypothèses trop drastiques quant à leur dispersion (hauteur de cheminée, débit, température d'éjection...).

Le résultat obtenu correspond donc à la morphologie du panache, dont il faut modérer l'intensité. Pour avoir une carte plus réaliste, il s'avère donc nécessaire de réaliser des mesures représentatives de l'année modélisée.

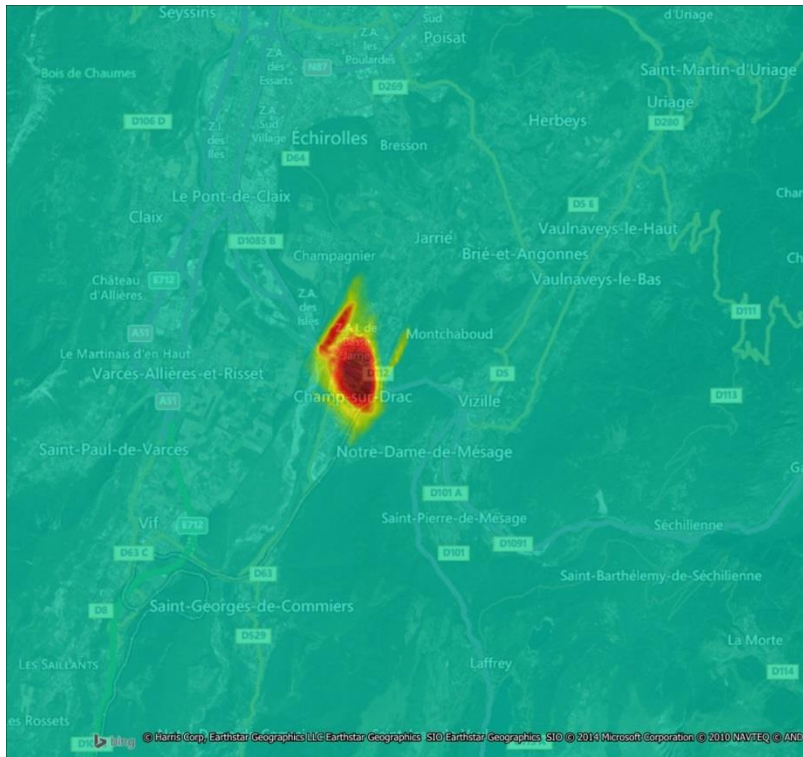
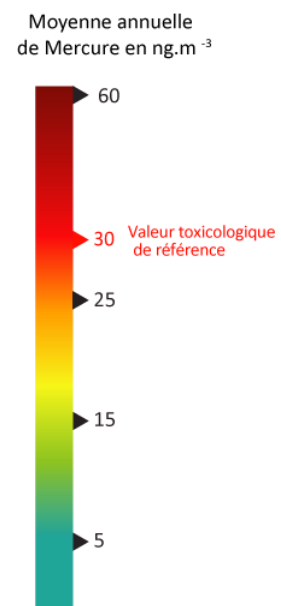


FIGURE 17 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN MERCURE EN NG/M<sup>3</sup>



	2009	2010	2011/2012	2013/2014
	2 sites durant 1 mois	Un site durant 1 an	2 sites durant 10 mois	Un site durant 5 mois
<b>Mercure en air ambiant à Jarrie en ng/m<sup>3</sup></b>	8-20	7	15-16	9

TABLEAU 21 VALEURS MESUREES EN MERCURE A JARRIE ET CHAMPS SUR DRAC

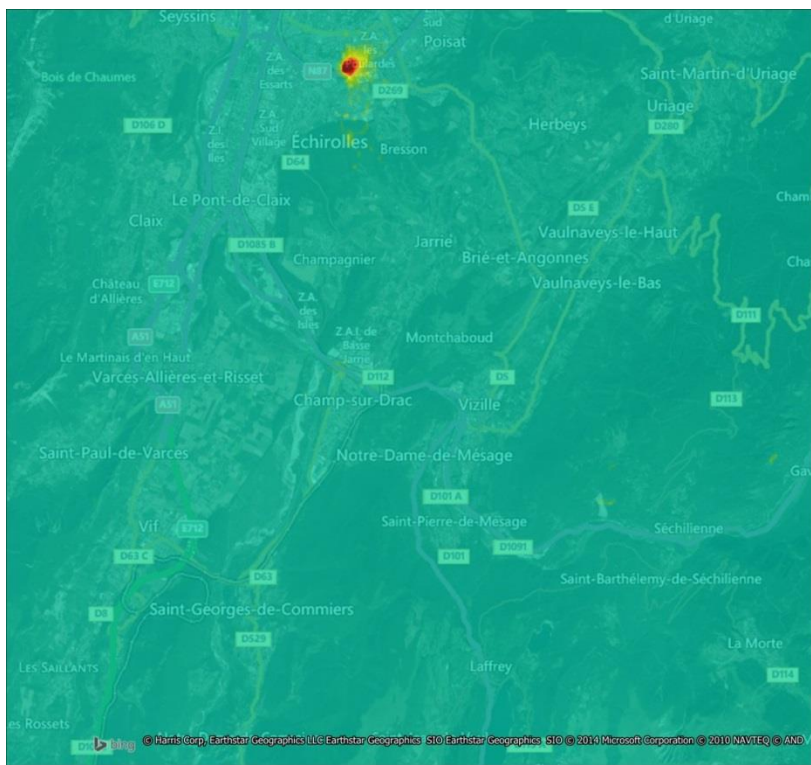
#### 4.5.2. Concentrations moyennes annuelles dans les retombées atmosphériques

Les Figures 18 à 21 ci-après représentent les cartes de concentrations annuelles 2011 des retombées atmosphériques d'arsenic, de cadmium, plomb et de nickel.

Sur chaque carte, des zones de fortes concentrations sont présentes. Elles dépassent les valeurs de référence et sont situées au sud d'une source industrielle unique. Ces dépassements sont très certainement liés à une mauvaise description des caractéristiques de cette source en entrée du modèle, notamment la vitesse d'éjection probablement trop faible. Cette mauvaise description de cette source fait que la dispersion des composés émis par cette source a créé cette zone de retombées importantes où les valeurs de référence ne sont pas respectées.

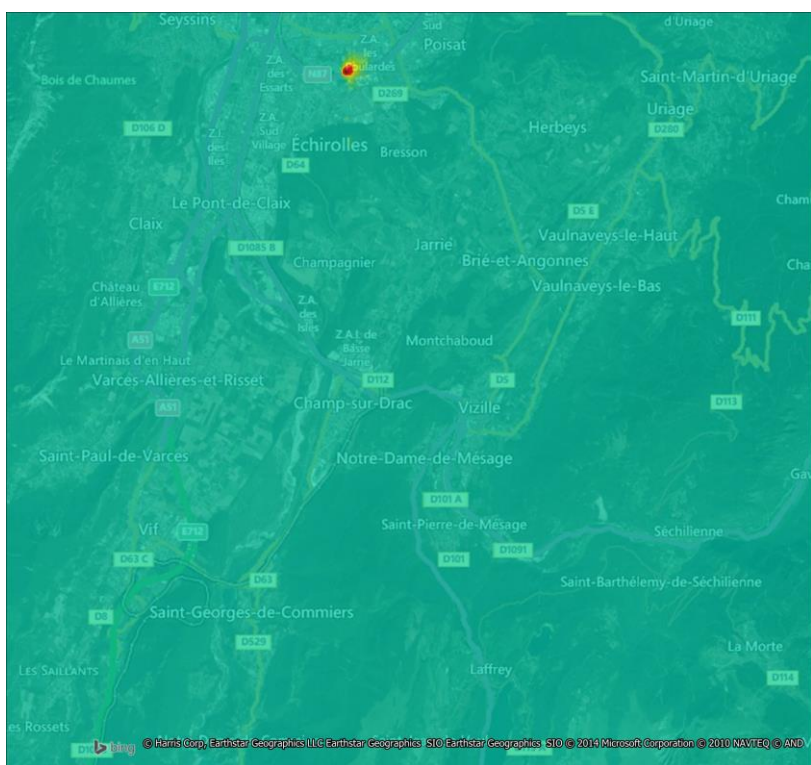
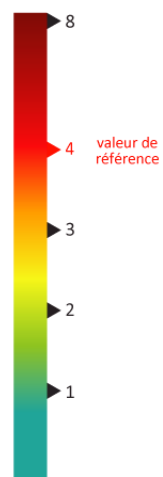
Sur le reste du domaine, les concentrations de métaux lourds dans les retombées atmosphériques sont nettement inférieures aux valeurs de référence.

A noter qu'Air Rhône-Alpes mesure très peu de dépassements des valeurs de référence concernant ces composés dans les retombées (Tableau 22 à Tableau 25). Les dépassements modélisés sont donc peu cohérents avec les valeurs habituellement mesurées. Les cartes obtenues permettent donc uniquement d'estimer la morphologie du panache des retombées atmosphériques.



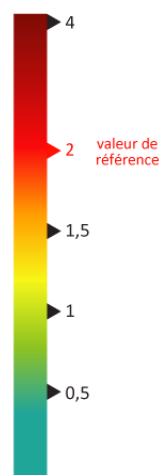
**FIGURE 18 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN ARSENIC DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES**

Retombées atmosphériques d'Arsecin en µg/m2/jour

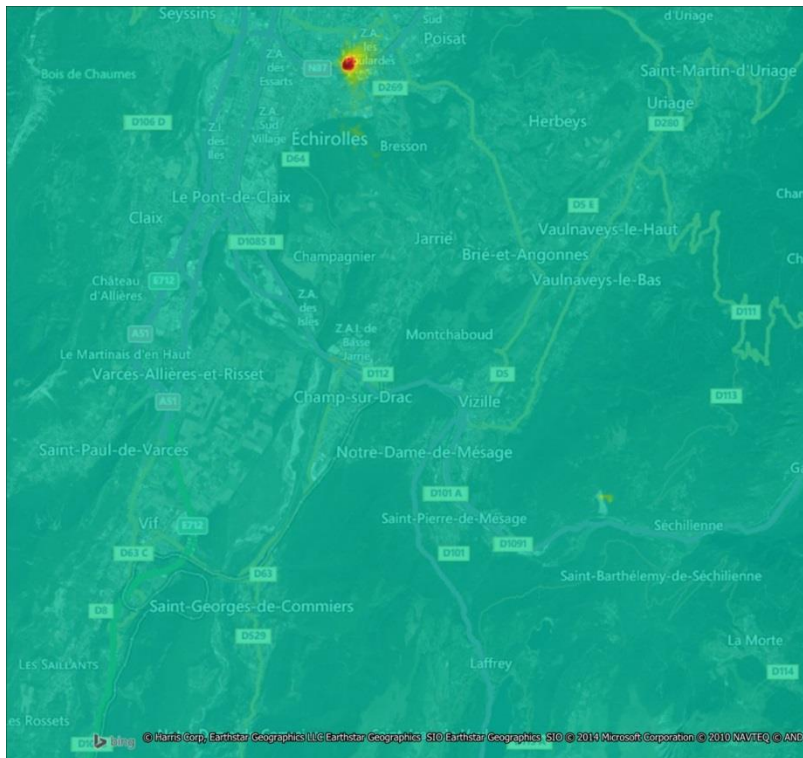


**FIGURE 19 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN CADMIUM DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES**

Retombées atmosphériques de Cadmium en µg/m2/jour

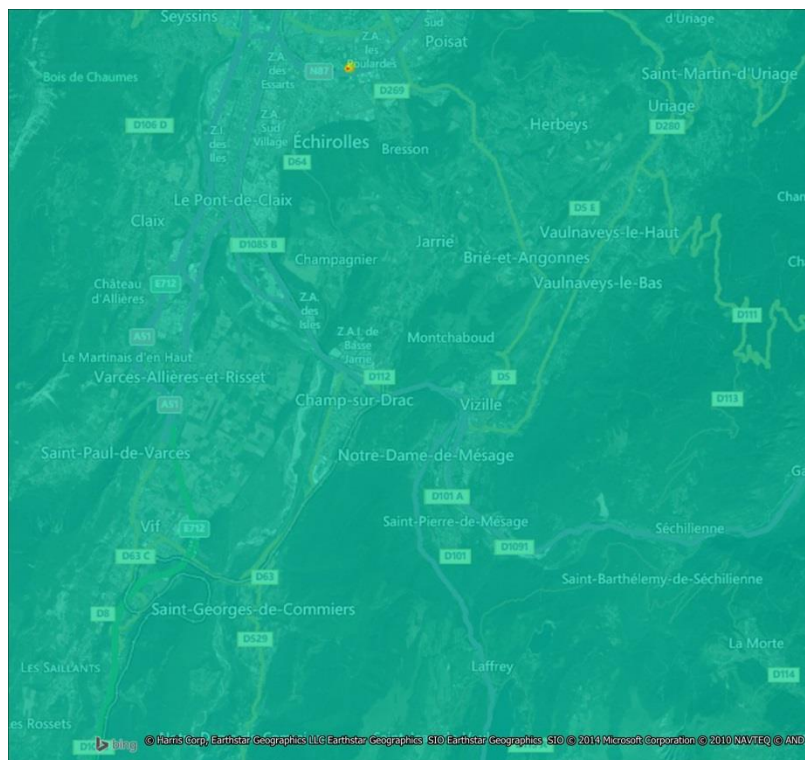
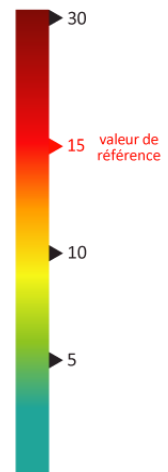






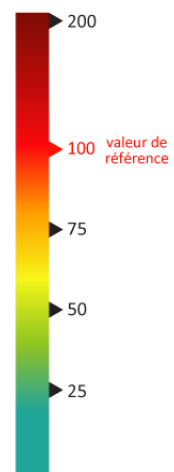
**FIGURE 20 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN NICKEL DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES**

Retombées atmosphériques de Nickel en  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$



**FIGURE 21 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN PLOMB DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES**

Retombées atmosphériques de Plomb en  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$



Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011 ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ )	Valeur de référence
Arsenic	Jarrie - Sud	Retombées atmosphériques	0,915	4 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
Arsenic	Grenoble les Frênes	Retombées atmosphériques	0,550	
Arsenic	Pont de Claix - Sud	Retombées atmosphériques	0,349	
Arsenic	Pont de Claix - Nord	Retombées atmosphériques	0,319	
Arsenic	Jarrie - Nord	Retombées atmosphériques	0,310	

**TABEAU 22 VALEURS MESUREES EN ARSENIC DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011**

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011 ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ )	Valeur de référence
Cadmium	Grenoble les Frênes	Retombées atmosphériques	0,258	2 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
Cadmium	Jarrie - Nord	Retombées atmosphériques	0,232	
Cadmium	Jarrie - Sud	Retombées atmosphériques	0,232	
Cadmium	Pont de Claix - Nord	Retombées atmosphériques	0,231	
Cadmium	Pont de Claix - Sud	Retombées atmosphériques	0,231	

**TABEAU 23 VALEURS MESUREES EN CADMIUM DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES DANS LE SUD GRENOBLOIS**

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011 ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ )	Valeur de référence
Nickel	Jarrie - Sud	Retombées atmosphériques	3,363	15 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
Nickel	Pont de Claix - Sud	Retombées atmosphériques	2,426	
Nickel	Jarrie - Nord	Retombées atmosphériques	2,235	
Nickel	Grenoble les Frênes	Retombées atmosphériques	2,156	
Nickel	Pont de Claix - Nord	Retombées atmosphériques	1,639	

**TABEAU 24 VALEURS MESUREES EN NICKEL DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011**

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011 ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$ )	Valeur de référence
Plomb	Jarrie - Sud	Retombées atmosphériques	3,927	100 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$
Plomb	Pont de Claix - Sud	Retombées atmosphériques	4,273	
Plomb	Jarrie - Nord	Retombées atmosphériques	2,114	
Plomb	Grenoble les Frênes	Retombées atmosphériques	7.175	
Plomb	Pont de Claix - Nord	Retombées atmosphériques	2.509	

**TABEAU 25 VALEURS MESUREES EN PLOMB DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHERIQUES DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011**

## 4.6. Dioxines (PCDD/F)

### 4.6.1. Concentration moyenne annuelle en air ambiant

La Figure 21 illustre la répartition des concentrations moyennes annuelles de dioxines sur le domaine d'études.

Des zones présentent des concentrations dépassant la valeur de référence (0,04 pgITEQ/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle). Comme évoqué pour les autres composés, des zones à fortes concentrations sont retrouvées au pied des reliefs.

Au total, ces fortes concentrations sont présentes sur moins de 3% du domaine, et concernent essentiellement le Nord du domaine vers les communes de Grenoble et Echirolles. 75% du domaine d'étude présente une concentration moyenne annuelle inférieure à 0,01 pgITEQ/m<sup>3</sup> (4 fois moins que la valeur de référence).

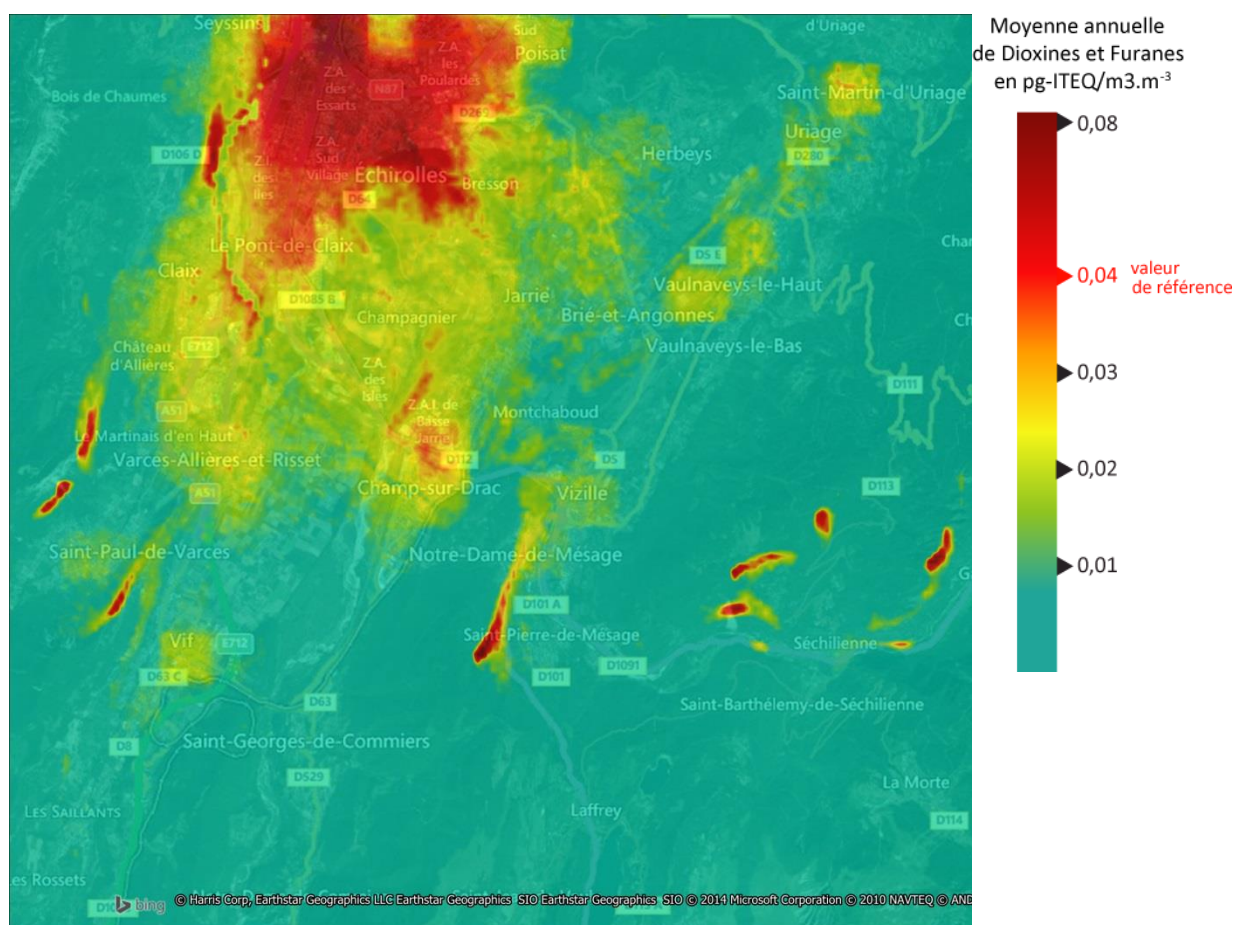


FIGURE 21 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE DIOXINES EN AIR AMBIANT

Les mesures sont suffisamment nombreuses pour être utilisées dans le traitement géostatistique de fin de chaîne de modélisation. Les concentrations modélisées sont ainsi bien en accord avec les valeurs mesurées par Air Rhône-Alpes (Tableau 26).

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011	Unité
PCDD/PCDF	Pont de Claix - Nord	Air ambiant	0,035	pgITEQ/m <sup>3</sup>
PCDD/PCDF	Jarrie - Nord	Air ambiant	0,022	pgITEQ/m <sup>3</sup>

TABLEAU 26 VALEURS MESUREES EN DIOXINES EN AIR AMBIANT DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011

#### 4.6.2. Concentrations moyennes annuelles dans les retombées atmosphériques

La Figure 22 illustre la concentration moyenne annuelle en dioxines dans les retombées atmosphériques.

Sur cette carte, les mailles de 1km<sup>2</sup> du cadastre des émissions sont assez visibles, ce qui traduit peu de dispersion.

Les plus fortes valeurs de dioxines dans les retombées sont observées dans le sud de Grenoble et dans la zone allant de Pont de Claix à Champ-sur-Drac.

A noter qu'Air Rhône-Alpes mesure quelques dépassements des valeurs limites concernant les dioxines dans les retombées (Tableau 27), ce qui est intégré à la carte finale via le traitement géostatistique.

D'après ces résultats, environ 3% du domaine est concerné par un dépassement de la valeur limite concernant les dioxines dans les retombées atmosphériques (valeurs supérieures à 10 pgITEQ/m<sup>2</sup>/jour).

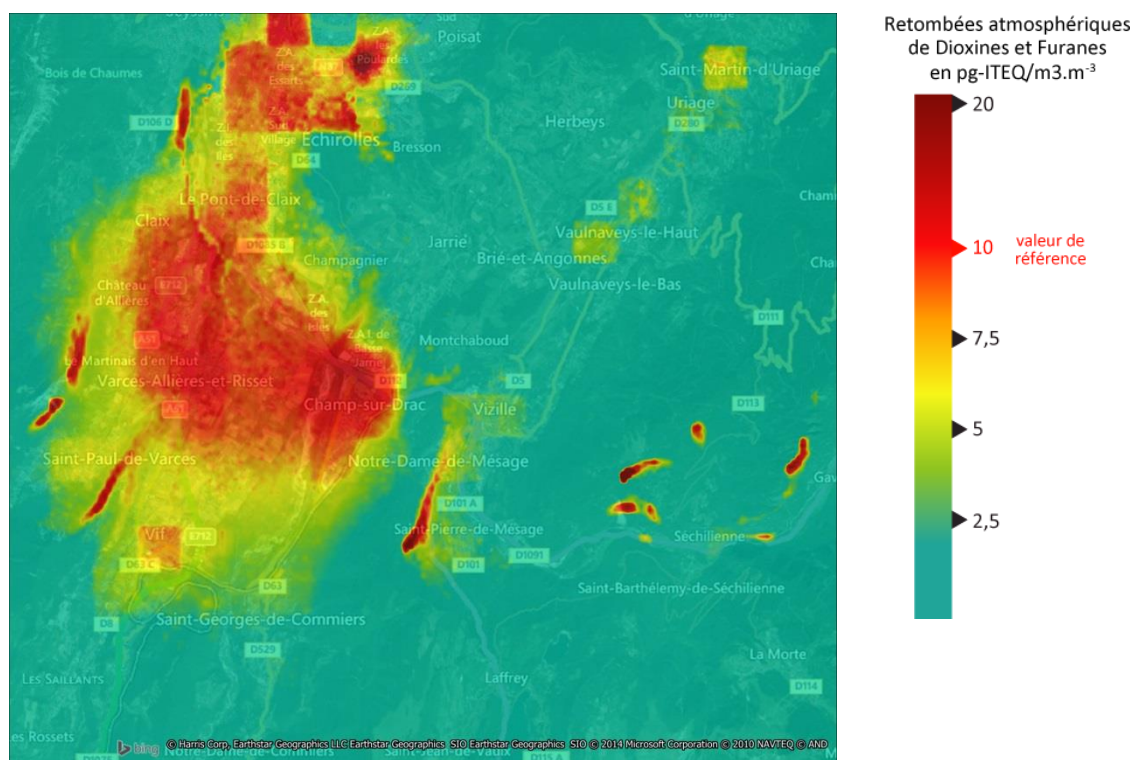


FIGURE 22 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE DIOXINES DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011	Unité
PCDD/PCDF	Jarrie - Sud	Retombées atmosphériques	<b>15,61</b>	pgITEQ/m <sup>2</sup> /jour
PCDD/PCDF	Pont de Claix - Sud	Retombées atmosphériques	7,7	pgITEQ/m <sup>2</sup> /jour
PCDD/PCDF	Pont de Claix - Nord	Retombées atmosphériques	6,04	pgITEQ/m <sup>2</sup> /jour
PCDD/PCDF	Jarrie - Nord	Retombées atmosphériques	3,84	pgITEQ/m <sup>2</sup> /jour
PCDD/PCDF	Grenoble les Frênes	Retombées atmosphériques	3,147	pgITEQ/m <sup>2</sup> /jour

TABLEAU 27 VALEURS MESURÉES DES DIOXINES DANS LES RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES EN 2011

## 4.7. Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

### 4.7.1. Benzo(a)pyrène

La Figure 23 illustre la répartition des concentrations moyennes annuelles en air ambiant de benzo(a)pyrène sur le domaine d'étude.

Des zones en orange sur la carte correspondent à des territoires où la valeur cible (1 ng/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle) est approchée sans toutefois être dépassée. Ces zones concernent essentiellement le secteur de Claix, Champs sur Drac mais aussi les contreforts de Belledonne de Vaulnaveys-le-Bas à Saint-Martin-d'Uriage.

Comme pour d'autres polluants, la modélisation met en évidence des zones à fortes concentrations au pied des reliefs, pour lesquelles la valeur réglementaire de 1 ng/m<sup>3</sup> n'est pas respectée.

Les concentrations de benzo(a)pyrène mesurées en fond urbain à Grenoble en 2011, présentées Tableau 28 et intégrées à la cartographie, restent inférieures à la valeur cible.

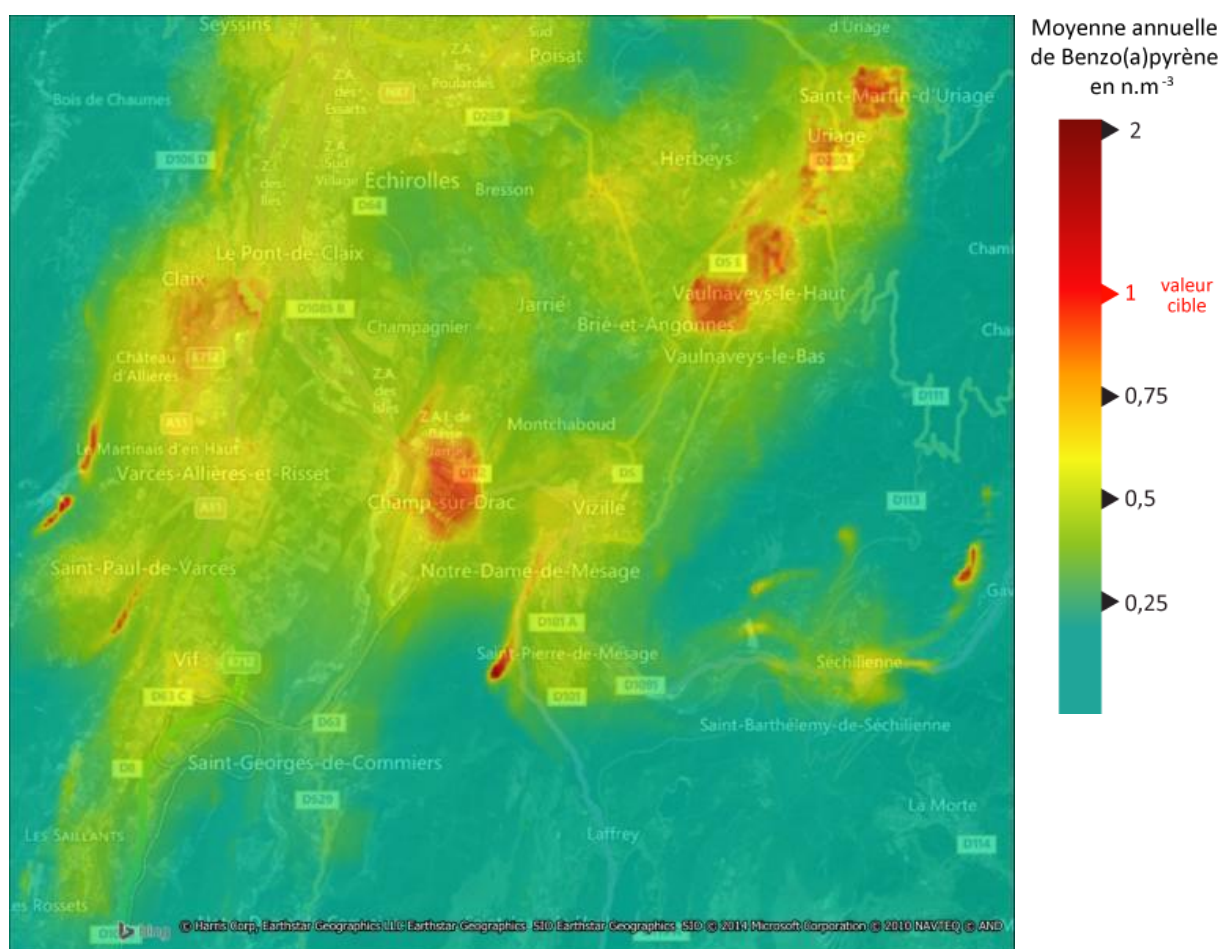


FIGURE 23 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE BENZO(A)PYRENE

Composé	Site de mesures	Type de mesures	Moyenne annuelle 2011	Unité
Benzo(a)pyrène	Grenoble les Frênes	Air ambiant	0,41	ng/m <sup>3</sup>

TABLEAU 28 VALEURS MESUREES EN BENZO(A)PYRENE DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011

## 4.7.2. Naphtalène

La Figure 24 illustre la répartition des concentrations moyennes annuelles en naphtalène en air ambiant.

Les concentrations modélisées les plus élevées atteignent  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle en zone urbaine dense, dans les vallées et les zones d'accumulation au pied des reliefs. Il faut noter que les mesures réalisées par Air Rhône-Alpes sur le site urbain de fond de Grenoble sont nettement moins fortes car elles sont de l'ordre de  $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur le site urbain de fond de Grenoble. Cette mesure n'a pas été intégrée à la carte car le site de mesure est unique et situé trop en bord de domaine de cette simulation.

L'écart modèle/mesure peut s'expliquer par les émissions de naphtalène prises en compte dans cette modélisation, qui sont exclusivement issues du cadastre surfacique et dans lequel il existe une grande incertitude sur les facteurs d'émission pour ce composé. Le résultat obtenu correspond donc à la morphologie de la répartition des concentrations, dont il faut modérer l'intensité. Pour avoir une carte plus réaliste et faute d'information plus fiable en termes d'émissions, il s'avère donc nécessaire de réaliser des mesures représentatives de l'année modélisée afin de pouvoir faire un traitement géostatistique final.

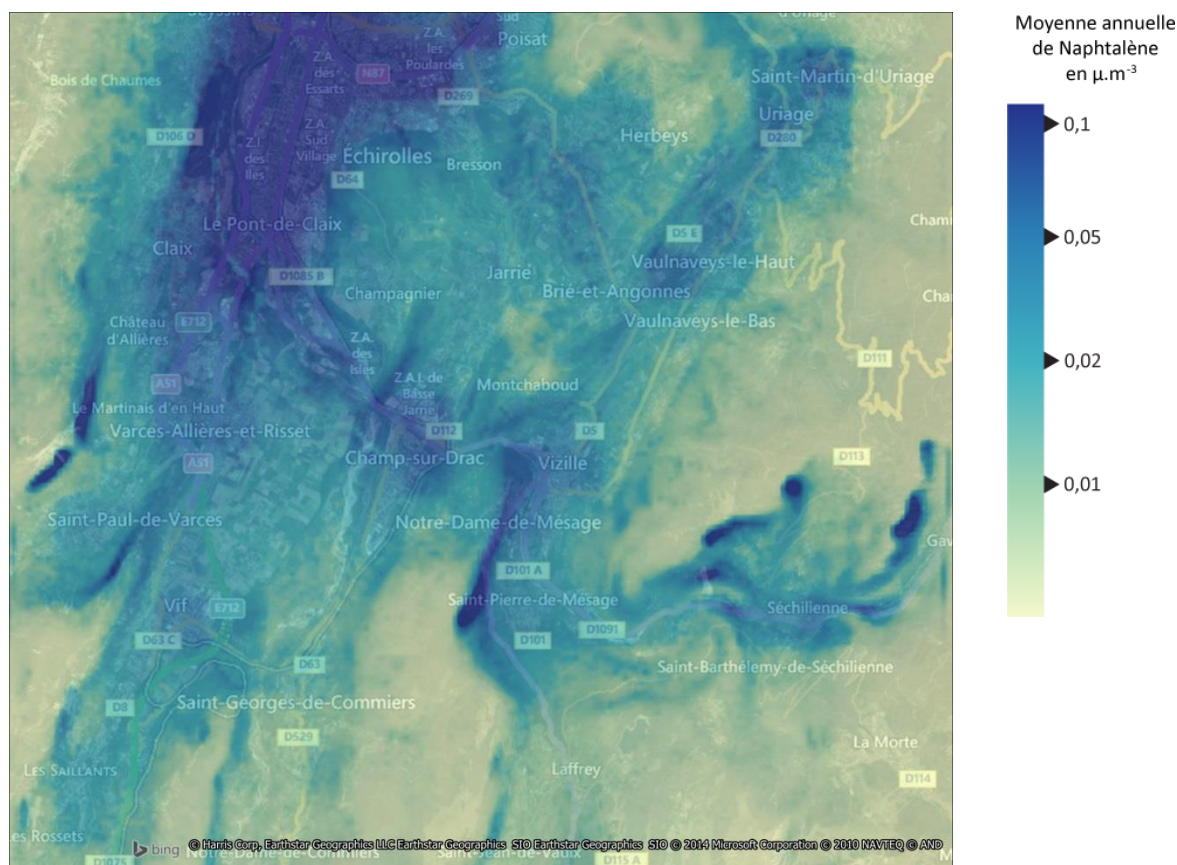


FIGURE 24 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN NAPHTALENE

## 5. Conclusions

Dans le cadre de l'amélioration de ses outils de modélisation, Air Rhône-Alpes a souhaité acquérir et développer ses compétences sur un nouvel outil, permettant de mieux prendre en compte les sources ponctuelles, notamment dans les zones dites « multi-émettrices ».

Air Rhône-Alpes a ainsi fait l'acquisition du logiciel ARIA Impact 3D™ et l'a mis en œuvre pour la 1<sup>ère</sup> fois sur le Sud Grenoblois. Ce secteur multi émetteur faisant actuellement l'objet d'une étude de zone, des données et paramètres d'émissions ont pu être recueillis et utilisés pour réaliser la modélisation de la dispersion atmosphérique de 11 composés pour l'année 2011, sur un domaine d'environ 400 km<sup>2</sup> (19x18km).

Cette 1<sup>ère</sup> étude permet de tirer quelques enseignements pour la mise en place et l'amélioration d'une chaîne de modélisation opérationnelle pour les zones multi émettrices. Ces enseignements portent sur plusieurs points :

- **Adaptation du modèle** aux composés ciblés: Le modèle utilisé dans le cadre de cette étude n'est pas adapté aux espèces très réactives telles que le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) car il ne comporte pas de module chimique. La modélisation du NO<sub>2</sub> nécessite en effet la prise en compte de la chimie des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). L'intégration de la chimie au modèle est d'autant plus importante si l'on considère des espèces très réactives sur un grand domaine, dans lequel les réactions chimiques auraient le temps de se produire.
- **Taille du domaine** : le domaine considéré dans cette étude est très étendu et contient par conséquent un nombre important de sources. Cette taille de domaine et le nombre de sources associé a nécessité l'externalisation des calculs de dispersion en 3D qui n'ont pu être fait par les serveurs de calcul d'Air Rhône-Alpes. Il existe des possibilités d'optimisation nécessitant d'autres outils (modèles parallélisés) ou un réajustement des données d'entrée (diminution des sources prises en compte).
- **Traitement géostatistique** sur les résultats bruts issus du modèle : ce traitement montre que les mesures réalisées dans ce secteur répondent à une demande différente (mesures réalisées dans le cadre d'un suivi environnemental d'installation), mais ne sont pas forcément intégrables en l'état dans le cadre d'une modélisation (échantillonnage spatial ou temporel non adéquat). La mise en place de mesures spécifiques permettant ce post-traitement doit donc encore accompagner les travaux de modélisation.
- **Améliorer et valider les données d'entrée** concernant certaines sources ponctuelles : il est nécessaire d'avoir les flux d'émission (quantité émise annuellement) mais aussi les paramètres d'émission qui ont une influence importante sur la dispersion associée. Si Air Rhône-Alpes possède des informations valables pour l'année 2011, elle ne dispose actuellement que d'informations incomplètes concernant ces sources pour les autres années.
- **Prise en compte des apports extérieurs au domaine et d'autres paramètres relatifs aux composés**: la réalisation d'une modélisation sur un domaine nécessite la prise en compte des sources comprises dans le domaine mais aussi d'autres sources comme les apports extérieurs au domaine. La modélisation de certains composés dont les dioxines nécessite la prise en compte de processus physiques qui ne sont pas forcément intégré dans le calcul de dispersion (comme la remise en suspension après dépôt). Ces deux composantes (apports extérieurs et remise en suspension) sont deux facteurs non négligeables pour ce type de composés.

Par ailleurs, comme cela a été décrit au cours de l'analyse des cartographies obtenues, de fortes concentrations ont été modélisées à des endroits jusqu'alors non investigués, au pied des reliefs. La réalisation de mesures en différents points de ces zones permettrait de confirmer ou non ces résultats.

Le travail réalisé par Air Rhône-Alpes dans le cadre de cette étude a permis de réaliser une cartographie des composés sur la zone du Sud Grenoblois pour l'année 2011. Toutefois, les résultats de la modélisation ne sont pas totalement en accord avec les concentrations observées dans ce secteur, notamment sur les valeurs maximales. Cette cartographie nécessite encore des ajustements sur les données d'entrée, la mise en œuvre de la chaîne de modélisation et le traitement géostatistique, afin de pouvoir évaluer au mieux l'exposition de la population sur cette zone.



# Annexes

## ANNEXE 1 : Détail des émissions surfaciques

	arsenic (kg)	cadmium (kg)	dioxines et furannes (kg)	mercure (kg)	nickel	plomb
<b>Agriculture et sylviculture</b>						
<b>Autres sources et puits</b>						
autres sources mobiles et machines			0,000			
chauffage (tout type)	2,538	0,360	0,026	0,347	2,930	23,227
Combustion dans l'industrie manufacturière	0,420	0,089	0,002	0,082	2,325	3,710
combustion hors industrie	0,036	0,005	0,000	0,003	0,045	0,345
<b>Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique</b>						
<b>Procédés de production</b>						
Traitement et élimination des déchets	0,000	0,000	0,098	0,060	0,000	0,000
Transport routier	0,063	0,896	0,010	0,468	3,301	17,056

TABLEAU 29 DETAIL DES EMISSIONS SURFACIQUES D'ARSENIC, CADMIUM, DIOXINES, MERCURE, NICKEL, PLOMB

	benzène (tonnes)	benzo(a)pyrene (kg)	naphtalène (kg)	oxydes d'azote (tonnes)	PM10 (tonnes)
<b>Agriculture et sylviculture</b>				8,261	2,185
<b>Autres sources et puits</b>				1,846	
autres sources mobiles et machines	0,186	0,033		39,819	6,902
chauffage (tout type)	12,841	9,348	884,409	135,594	191,276
Combustion dans l'industrie manufacturière	0,102	0,001	0,015	29,917	3,931
combustion hors industrie	0,173	0,019	5,216	25,050	1,022
<b>Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique</b>	2,316				
<b>Procédés de production</b>	0,003	0,000			52,770
Traitement et élimination des déchets		0,000		0,998	8,688
Transport routier	5,999	1,007	1415,754	1011,330	99,467

TABLEAU 30 DETAIL DES EMISSIONS SURFACIQUES DE BENZENE, BENZO(A)PYRENE, NAPHTALENE, OXYDES D'AZOTE, PARTICULES

## ANNEXE 2 : Sites de mesures d’Air Rhône-Alpes

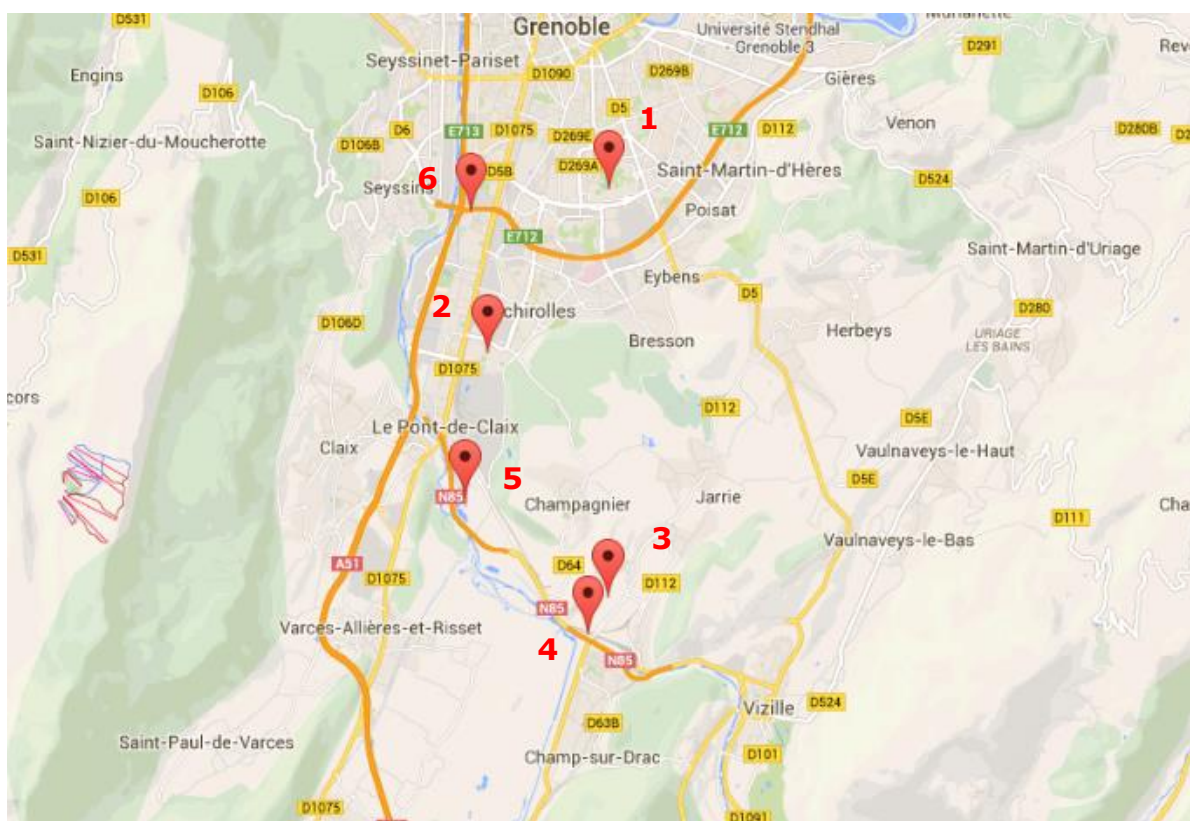


FIGURE 26 CARTE DES STATIONS DE MESURES D’AIR RHONE-ALPES DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011

Numéro	Site de mesures	Typologie	Type de mesures
1	Grenoble les Frênes	Urbain de fond	Site fixe
2	Pont de Claix - Nord	Proximité industrielle	Mesures ponctuelles
3	Jarrie - Nord	Proximité industrielle	Mesures ponctuelles
4	Jarrie - Sud	Proximité industrielle	Mesures ponctuelles
5	Pont de Claix - Sud	Proximité industrielle	Mesures ponctuelles
6	Le Rondeau SF - Echirolles	Proximité automobile	Site fixe

TABLEAU 31 LISTE DES STATIONS DE MESURES D’AIR RHONE-ALPES DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011

# Table des illustrations

FIGURE 1 PRINCIPE DE LA MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE .....	5
FIGURE 2 DOMAINE D'ETUDE – RECTANGLE ROUGE DE 19X18KM DE COTE .....	6
FIGURE 3 TOPOGRAPHIE DU DOMAINE – SOURCE : IGN BD ALTI.....	8
FIGURE 4 : CONFIGURATION DES DOMAINES WRF .....	10
FIGURE 5 SOURCES INDUSTRIELLES PRISES EN COMPTE SOUS FORME PONCTUELLE.....	13
FIGURE 6 GRILLE DU CADASTRE DES EMISSIONS PRIS EN COMPTE POUR LA MODELISATION .....	14
FIGURE 7 CADASTRE KILOMETRIQUE DES EMISSIONS DE NOX ET PM10 DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011 ...	14
FIGURE 8 RATIO JOURNALIER APPLIQUE AUX EMISSIONS DU CHAUFFAGE ET TEMPERATURE JOURNALIERE A PONT DE CLAIX EN 2011 .....	15
FIGURE 9 PRINCIPE DE LA CHAINE DE MODELISATION MISE EN PLACE DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE .....	17
FIGURE 10 CARTE DE CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE EN PM10 EN $\mu\text{G}/\text{M}^3$ .....	22
FIGURE 11 CARTE DE CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE EN OXYDE D'AZOTE (NOX) EN $\mu\text{G}/\text{M}^3$ .....	23
FIGURE 12 CARTE DE CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE EN BENZENE (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) EN $\mu\text{G}/\text{M}^3$ .....	25
FIGURE 13 CARTE DE CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN ARSENIC.....	26
FIGURE 14 CARTE DE CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN CADMIUM.....	27
FIGURE 15 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN NICKEL EN AIR AMBIANT .....	27
FIGURE 16 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN PLOMB EN AIR AMBIANT.....	28
FIGURE 17 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN MERCURE EN $\text{NG}/\text{M}^3$ .....	30
FIGURE 18 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN ARSENIC DANS LES RETOMBES ATMOSPHERIQUES.....	32
FIGURE 19 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN CADMIUM DANS LES RETOMBES ATMOSPHERIQUES.....	32
FIGURE 20 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN NICKEL DANS LES RETOMBES ATMOSPHERIQUES.....	33
FIGURE 21 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN PLOMB DANS LES RETOMBES ATMOSPHERIQUES.....	33
FIGURE 21 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE DIOXINES EN AIR AMBIANT.....	35
FIGURE 22 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE DIOXINES DANS LES RETOMBES ATMOSPHERIQUES.....	36
FIGURE 23 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE BENZO(A)PYRENE.....	37
FIGURE 24 CARTE DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES EN NAPHTALENE .....	38
FIGURE 26 CARTE DES STATIONS DE MESURES D'AIR RHONE-ALPES DANS LE SUD GRENOBLOIS EN 2011 .....	43