

A630 – MISE A 2×3 VOIES DE LA ROCADE OUEST DE BORDEAUX – ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES DE 2E APPROCHE AVEC METROLOGIE SPECIFIQUE SUR LES POLLUANTS A ENJEUX

DREAL AQUITAINE

Rapport d'étude
Décembre 2012

A630 – Mise à 2 x3 voies de la rocade ouest de Bordeaux – Évaluation des risques sanitaires de 2^e approche avec métrologie spécifique sur les polluants à enjeux

Client : **DREAL Aquitaine**
Rue Jules Ferry Cité administrative
BP 90
33090 Bordeaux cedex

N° de dossier : 11-RA-03-RM-06
N° de version : Version 3.3.
Date de révision : 06 décembre 2012

Destinataires : DREAL Aquitaine / ARS Aquitaine

Affaire suivie par : Rémi MERLEN
remi.merlen@biomonitor.fr
tél. : 03.82.33.97.99

Ce rapport comporte **198** pages y compris les annexes et a été édité le

La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

	Rédaction	Vérification	Approbation
Noms	R.MERLEN	S.CHAROLLAIS	R.MERLEN
Fonction	Chargé d'études	Chargé d'études	Directeur
Signatures			

BIOMONITOR S.A.R.L au capital de 30 000 € - APE 7112 B – RCS BRIEY 488 124 603

SIRET 488 124 603 00025 – FR 32 488 124 603

SIÈGE SOCIAL : 7 Lieu-dit Les Baraques 54890 Chambley-Bussières

Tél : 03.82.33.81.56 – Fax : 03.82.22.35.42 – Mail : contact@biomonitor.fr

SOMMAIRE

PAGES

Liste des tableaux	6
Liste des figures	8
1. Présentation de l'étude	9
1.1. Cadre de l'étude	9
1.2. Objectifs et phasage de l'étude	9
1.3. Intervenants	10
1.4. Documents de référence	11
2. Travail réalisé en amont de la réévaluation des risques sanitaires	11
2.1. Objectifs	11
2.2. La réactualisation de l'étude	11
2.3. L'affinage de l'étude	12
2.4. Mise en place de campagnes de mesures	12
3. L'évaluation des risques sanitaires	13
3.1. Champ d'investigation	13
3.2. Choix de la démarche	13
3.3. Bases réglementaires et méthodologiques	14
3.4. Contenu du rapport	14
4. Etat initial du site, campagne de mesures de la qualité de l'air, des sols et des végétaux	15
4.1. Principe de la démarche	15
4.2. Choix des polluants à analyser	15
4.3. Stratégie d'implantation et de sélection des stations de mesures	16
4.3.1. Méthodologie générale	16
4.3.2. Analyse multicritères	17
4.3.3. Validation des stations	18
4.3.4. Sélection finale	18
4.4. Méthodologie d'intervention	22
4.5. Mesures de la qualité de l'air	23
4.5.1. Campagnes de mesures	23
4.5.2. Exploitation des données météorologiques	23
4.5.3. Outils d'interprétation	29
4.5.4. Résultats aux poussières en suspension PM _{2,5}	30
4.5.5. Résultats relatifs aux NO ₂ par tube passifs	34
4.5.6. Mesure du NO ₂ en continu	36
4.5.7. Comparaison mesures par tubes passifs/mesures en continu	38
4.6. Mesures de la qualité des végétaux	38
4.6.1. Outils d'interprétation	38
4.6.2. Teneur en eau des échantillons	38
4.6.3. Concentrations en ETM	39
4.6.4. Indice global de la qualité des végétaux	48
4.7. Qualité des sols	49
4.7.1. Outils d'interprétation	49
4.7.2. Concentrations en ETM	49
4.7.3. Indice global de la qualité des sols	56
4.8. Bilan et conclusion du chapitre	56

5. L'identification des dangers et le choix des polluants traceurs du risque	58
5.1. Schéma global d'exposition	58
5.2. Les enjeux et les risques présentés par l'air, les aliments et les sols	59
5.2.1. Description des points d'exposition	59
5.2.2. Voies d'exposition retenues	60
5.3. L'identification des dangers et la sélection des traceurs	61
5.4. Définition des relations dose-réponse ou dose-effet	61
5.4.1. La Liste des agents dangereux	61
5.4.2. Le choix des valeurs toxicologiques de référence	62
6. La Réévaluation de l'exposition par inhalation	65
6.1. Quels sont les polluants et les types d'exposition étudiés?	65
6.2. Etat d'exposition considéré	65
6.3. Scenarii d'exposition retenus pour la voie respiratoire	65
6.4. Les paramètres d'exposition étudiés	66
6.4.1. Recensement des populations	66
6.4.2. Paramètres d'exposition des individus	66
6.4.3. Estimation des concentrations atmosphériques	67
6.4.4. Les concentrations de fond	68
6.5. Estimations des concentrations d'exposition	70
6.5.1. Principe	70
6.5.2. Pour les expositions aiguës : cas du dioxyde d'azote	70
6.5.3. Pour les expositions chroniques avec effets à seuil : cas du dioxyde d'azote et des particules diesel	70
6.5.4. Pour les expositions chroniques avec effets sans seuil : cas du chrome et des particules diesel	71
6.5.5. Présentation des résultats de calculs d'exposition	71
6.6. Caractérisation des risques sanitaires	74
6.6.1. Effets non cancérogènes	74
6.6.2. Effets cancérogènes	76
6.7. L'analyse des incertitudes	79
6.7.1. Facteurs de sous-estimations du risque	79
6.7.2. Facteurs de sur-estimations du risque	79
6.7.3. Facteurs d'effets inconnus sur l'estimation du risque	81
7. La reevaluation de l'exposition par ingestion	86
7.1. Description des voies d'exposition	86
7.2. Scenarii d'exposition	86
7.2.1. Types d'exposition	86
7.2.2. Paramètres d'exposition	86
7.2.3. Cibles retenues	87
7.3. Outils de détermination des concentrations	87
7.4. Données utilisées	88
7.4.1. Données sur la qualité des sols	88
7.4.2. Données sur la qualité des végétaux	88
7.4.3. Données sur la qualité de l'air	89
7.4.4. Dépôts des polluants	89
7.4.5. Les habitudes alimentaires	91
7.4.6. Paramètres relatifs aux cibles humaines	92
7.4.7. Paramètres sources du modèle HHRAP	93
7.5. Estimation des concentrations dans les média	93
7.5.1. Concentrations dans les sols	94
7.5.2. Concentrations dans les végétaux	94
7.6. Détermination des doses journalières d'exposition	95
7.6.1. Méthodologie	95
7.6.2. Résultats	97
7.7. Caractérisation des risques	101
7.7.1. Polluants à effet systémique ou à effet avec seuil	101

7.7.2. Polluants à effet cancérogène ou à effet sans seuil	106
7.8. L'analyse des incertitudes	110
7.8.1. Choix des polluants traceurs et évaluation de la toxicité	110
7.8.2. Contamination du sol	110
7.8.3. Influence du lavage	110
7.8.4. Les valeurs des facteurs de transfert	110
7.8.5. Les valeurs des facteurs de transfert	111
7.8.6. Cibles d'exposition	111
7.8.7. Concentrations initiales dans les sols et dans les végétaux	111
7.8.8. Scenarii d'alimentation	112
7.8.9. Voies d'exposition majorantes	112
<hr/>	
8. Propositions de mesures de gestion	115
<hr/>	
9. Conclusion	116
<hr/>	
Sigles et acronymes	119
<hr/>	
Glossaire	121
<hr/>	
ANNEXES	124

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Substances proposées pour leur prise en compte dans les évaluations du risque sanitaire dans le cadre d'études d'impact d'infrastructures routières selon la voie d'exposition et les effets sanitaires	16
Tableau 2 : Présentation des points de mesures	19
Tableau 3 : Répartition des prélèvements	22
Tableau 5 : Secteurs de vent pour lesquels les points de mesures sont sous les vents de la rocade	29
Tableau 6 : Concentrations en poussières en suspension PM _{2,5} (µg/m ³)	30
Tableau 7 : Ecart relatif moyen en % mesuré entre les doublons	34
Tableau 8 : Concentrations en NO ₂ par tube passif (µg/m ³)	35
Tableau 9 : Concentrations en NO ₂ en continu (µg/m ³)	37
Tableau 10 : Comparaison entre les résultats des mesures de NO ₂ par tubes passifs et celle en continu	38
Tableau 11 : Concentrations en métaux (mg/kg de matière fraîche) dans les légumes prélevés dans la bande d'étude	40
Tableau 12 : Hiérarchisation des stations en fonction du critère global de la qualité des végétaux	48
Tableau 13 : Concentrations en métaux (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude	50
Tableau 14 : Hiérarchisation des stations en fonction du critère global de la qualité des sols	56
Tableau 15 : Ensemble des points d'exposition potentiels pour l'homme	59
Tableau 16 : Présentation de la valeur guide pour les effets aigus des toxiques systémiques par voie respiratoire	62
Tableau 17 : Présentation de la VTR ou de la valeur guide pour les effets chroniques des toxiques systémiques par voie respiratoire	62
Tableau 22 : Concentrations de fond en moyenne annuelle observées sur la zone d'étude	68
Tableau 23 : Présentation des CMI (égale au CMH) pour les expositions aiguës au NO ₂ calculées sur le PS18	71
Tableau 24 : Présentation des CMI (en µg/m ³) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario 1	72
Tableau 25 : Présentation des CMI (en µg/m ³) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario 2	72
Tableau 26 : Présentation des CMI (en µg/m ³) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario 1	73
Tableau 27 : Présentation des CMI (en µg/m ³) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario 2	73
Tableau 28 : Estimation des QD (en µg/m ³) pour les effets aigus par voie respiratoire	75
Tableau 29 : Présentation des QD pour les effets chroniques avec effets à seuil pour le scénario 1	76
Tableau 30 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario 2	76
Tableau 31 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario 1	78
Tableau 32 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario 2	78
Tableau 33 : Présentation des CMH (égales aux CMI) et des QD pour les expositions aiguës au NO ₂ calculées sur la base des percentiles 99,8 sur le PS18	80
Tableau 34 : Présentation des médianes retenues dans les sols pour l'évaluation des risques sanitaires (en mg/kg de MS)	88
Tableau 35 : Présentation des médianes retenues dans les légumes pour l'évaluation des risques sanitaires (en mg/kg de MF)	89
Tableau 36 : Concentrations moyennes annuelles observées par Cap Environnement sur la station B2 (ng/m ³) (résultats présentés dans le chapitre IX « Synthèse des mesures effectuées en saison chaude et en saison froide).	89
Tableau 37 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque (µg/m ² .s) – contribution de la rocade pour la situation « 2020 fil de l'eau ». Valeurs utilisées dans le cadre du scénario A	90
Tableau 38 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque (µg/m ² .s) – contribution de la rocade pour la situation « 2020 2*3 voies». Valeurs utilisées dans le cadre du scénario A	90
Tableau 39 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque (µg/m ² .s) – contribution de la rocade pour la situation « 2020 fil de l'eau ». Valeurs utilisées dans le cadre du scénario B	91
Tableau 40 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque (µg/m ² .s) – contribution de la rocade pour la situation « 2020 2*3 voies». Valeurs utilisées dans le cadre du scénario B	91

Tableau 41 : Paramètres relatifs aux cibles humaines	93
Tableau 42 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario A (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée	98
Tableau 43 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario A (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade	98
Tableau 44 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à l'état initial	99
Tableau 45 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade	99
Tableau 46 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil de l'arsenic pour le scénario A (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée	100
Tableau 47 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour l'arsenic pour le scénario A (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade	100
Tableau 48 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil de l'arsenic pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée	101
Tableau 49 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil de l'arsenic pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade	101
Tableau 50 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario A (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée	104
Tableau 51 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario A (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable au projet	104
Tableau 52 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à l'état initial	105
Tableau 53 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable au projet	105
Tableau 54 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée	105
Tableau 55 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario A (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée	108
Tableau 56 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario A (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade	108
Tableau 57 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée	109
Tableau 58 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario B (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade	109
Tableau 59 : Estimation du QD et de l'ERI à l'état initial à partir des concentrations observées sur la station (cas du scénario A) sans tenir compte des apports extérieurs	111
Tableau 60 : Estimation du QD et de l'ERI à l'état initial à partir des P98 (cas du scénario A) sans tenir compte des apports extérieurs	112
Tableau 61 : Contribution des différents media d'exposition au risque global calculé pour les risques chroniques à seuil pour la classe d'âge 1 à 2 ans (cas du scénario A)	113

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des stations de mesure	20
Figure 2 : Répartition des matrices prélevées et des polluants mesurés sur chaque point de mesure	21
Figure 3 : Evolution de la pluviométrie et de la température lors de la première campagne de mesure (du 24/02/10 au 25/03/10)	24
Figure 4 : Evolution de la pluviométrie et de la température lors de la deuxième campagne de mesure (du 31/08/10 au 28/09/10)	24
Figure 5 : Présentation des roses des vents représentatives des normales saisonnières	25
Figure 6 : Présentation des roses des vents représentatives des périodes de mesures hivernales	27
Figure 7 : Présentation des roses des vents représentatives des périodes de mesures estivales	28
Figure 8 : Evolution des PM _{2,5} en moyenne journalière lors de la première campagne de mesures	31
Figure 9 : Evolution des PM _{2,5} en moyenne journalière lors de la deuxième campagne de mesures	32
Figure 10 : Concentrations moyennes annuelles observées en PM _{2,5} et NO ₂ mesurées par préleveurs automatiques sur les stations de prélèvements air	33
Figure 11 : Evolution de la concentration moyenne journalière en NO ₂ lors de la campagne hivernale	36
Figure 12 : Evolution de la concentration moyenne journalière en NO ₂ lors de la campagne estivale	37
Figure 13 : Roses de pollution du NO ₂ (saison froide et saison chaude)	37
Figure 14 : Concentrations en arsenic (As) relevées dans les différents légumes prélevés dans la bande d'étude	39
Figure 15 : Concentrations en arsenic (As) mesurées dans les légumes (en mg/kg de MF).	41
Figure 17 : Concentrations en baryum (Ba) mesurées dans les légumes (en mg/kg de MF).	43
Figure 16 : Concentrations en baryum (Ba) relevées dans les différents légumes prélevés dans la bande d'étude	44
Figure 18 : Concentrations en cadmium (Cd) relevées dans les différents légumes prélevés dans la bande d'étude	45
Figure 19 : Concentrations en cadmium (Cd) mesurées dans les légumes (en mg/kg de MF)	47
Figure 20 : Concentrations en métaux mesurées sur les sols (en mg/kg de MS)	51
Figures 21 : Concentrations en arsenic (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude	52
Figures 22 : Concentrations en baryum (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude	53
Figures 23 : Répartition des concentrations en baryum (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude	54
Figure 24a : Concentrations en cadmium (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude	54
Figure 24b : Concentrations en cadmium (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude	55
Figures 25 : Répartition des concentrations en baryum (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude	55
Figures 26 : Schéma global d'exposition	58
Figure 27 : Répartition des émissions de PM _{2,5} sur la station de Talence par secteur d'activités	69
Figure 28 : Localisation de la station de mesures PS18 de la qualité de l'air par rapport à la rocade ouest de Bordeaux	83
Figure 29 : Localisation de la station de mesures PS38 de la qualité de l'air par rapport à la rocade ouest de Bordeaux	83
Figure 30 : Localisation de la station de mesures PS101 de la qualité de l'air par rapport à la rocade ouest de Bordeaux	84
Figure 31 : Description de la méthodologie adoptée pour calculer les doses journalières d'exposition en fonction du scénario	96
Figure 32 : Contribution des media d'exposition au risque par ingestion chronique d'arsenic pour les effets non cancérogènes – Cas de la classe d'âge 1 à 2 ans dans le cadre du scénario A développé pour les stations de proximité routière	113
Figure 33 : Contribution des media d'exposition au risque par ingestion chronique de mercure pour les effets non cancérogènes – Cas de la classe d'âge 1 à 2 ans dans le cadre du scénario A développé pour les stations de proximité routière	114

1. PRESENTATION DE L'ETUDE

1.1. Cadre de l'étude

L'étude s'inscrit dans le cadre du projet de mise à 2x3 voies de la rocade ouest de Bordeaux (A630) entre les échangeurs n° 10 et 16, déclaré d'utilité publique le 3 décembre 2008. Conformément au décret du 1^{er} août 2003 modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 pris pour l'application de l'article 2 de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, les effets du projet sur la qualité de l'air et la santé ont été évalués sur l'ensemble du programme de mise à 2x3 voies, soit entre les échangeurs n° 4 et 16.

L'étude air de niveau I (selon la circulaire n° 2005-273) menée en 2006 et 2007 par le groupement Cap Environnement / KTT-iMA / Numtech a indiqué que des risques de dépassements de seuils toxicologiques étaient possibles en situation dite actuelle sur certains des seize polluants étudiés :

- en exposition aiguë pour le dioxyde d'azote,
- en exposition respiratoire chronique pour les particules fines et le chrome (sans effet de seuil),
- en exposition orale chronique pour trois métaux (Ba, Cd et Hg) et un métalloïde (As)¹.

L'État (DREAL Aquitaine), maître d'ouvrage du programme, s'est engagé, à l'issue de l'enquête publique, à réaliser une approche plus fine des concentrations de ces polluants dans différentes matrices environnementales (air, sol et végétaux) :

« Le maître d'ouvrage réalisera dans un délai d'un an, en périodes estivale et hivernale, des mesures de concentration dans l'air en dioxyde d'azote, en particules PM 2,5 et en chrome, et des mesures de concentration dans les sols et végétaux en arsenic, baryum, cadmium et mercure.

Le maître d'ouvrage publiera à l'issue de ce suivi une réévaluation des risques sanitaires pour l'état initial et la mise en service à 2x3 voies. » (source : dossier des engagements de l'État).

1.2. Objectifs et phasage de l'étude

Dans le cadre de cette étude, la DREAL a fait appel au groupement BioMonitor/LECES/Micropolluants Technologie afin de procéder à la mise en place d'une procédure d'échantillonnage de la qualité de l'air, des sols et des végétaux et d'apporter les éléments qui permettraient de réaliser une évaluation des risques sanitaires sur les substances précitées.

L'étude a été menée selon en quatre phases successives :

- **Phase 1** : elle concerne la réactualisation et l'affinage de l'étude santé de première approche réalisée par le groupement Cap Environnement / Numtech / KTT-iMA,
- **Phase 2** : elle est dédiée à la mise en œuvre de la métrologie,
- **Phase 3** : elle est consacrée à l'interprétation et à la restitution des résultats de mesures de la qualité de l'air, des végétaux et des sols,
- **Phase 4** : elle concerne la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires de deuxième approche en utilisant les résultats de la métrologie déployée.

¹ Dans la suite du document, ces éléments seront regroupés sous le terme d'éléments traces métalliques (ETM).

Les trois premières phases de l'étude ont été réalisées en 2010 et présentées dans des rapports d'étape : 10-RA-02-RM-06, 10-RA-02-RM-07 et 10-RA-11-RM-18. Ce document resitue l'ensemble de l'étude.

1.3. Intervenants

L'étude a été réalisée par BioMonitor en association avec les sociétés LECES et Micropolluants Technologie. Les rôles ont été définis ainsi :

Prestataires	Missions	Intervenants
<p>BioMonitor</p> 	<p>Phase 1 : Réactualisation et affinage de l'étude santé de première approche</p> <p>Phase 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Mesures et analyses de la qualité des sols <input type="checkbox"/> Mesures et analyses de la qualité des végétaux <p>Phase 3 : Interprétation et restitution des résultats des mesures de la qualité des sols et des végétaux</p> <p>Phase 4 : Réalisation d'une évaluation des risques sanitaires de deuxième approche</p>	<p>M. MERLEN (Chef de projet)</p> <p>M. MERLEN M. GATINOIS</p> <p>M. MERLEN</p> <p>M. MERLEN</p>
<p>Leces</p> 	<p>Phase 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Mesures et analyses de dioxyde d'azote par analyseur automatique <input type="checkbox"/> Mesures et analyses de dioxyde d'azote par tubes passifs <input type="checkbox"/> Mesures et analyses des PM_{2,5} par analyseur automatique <p>Phase 3 : Interprétation et restitution des résultats des mesures de la qualité de l'air</p>	<p>M. PANIZZOLI</p> <p>M. PANIZZOLI M. RANTY</p>
<p>Micropolluants Technologies</p> 	<p>Phase 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Réalisation des analyses de NO₂ par tubes passifs <input type="checkbox"/> Réalisation des analyses de métaux dans les sols et les végétaux. 	

1.4. Documents de référence

L'étude s'appuie sur les documents suivants :

- l'étude air² et son annexe³, réalisées en 2006 et 2007 par le groupement Cap Environnement / KTT-iMA / Numtech ;
- les pages relatives à la problématique air dans l'étude d'impact présentée lors de l'enquête publique de janvier – février 2008,
- les rapports 10-RA-02-RM-06, 10-RA-02-RM-07 et 10-RA-11-RM-18 précités,
- les décisions prises lors des réunions de comité de pilotage.

L'analyse a également été réalisée en considérant l'ensemble des références réglementaires et méthodologiques relatives à la mesure de qualité de l'air et à l'impact sur la santé qui seront présentées dans la suite du document.

2. TRAVAIL REALISE EN AMONT DE LA REEVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

2.1. Objectifs

L'étude de Cap Environnement / KTT-iMA / Numtech a été construite conformément aux prescriptions de la note méthodologique du 25 février 2005 qui prévoit, pour les études de niveau I, une qualification de l'état initial, l'estimation des émissions et des concentrations dans une bande d'étude, l'élaboration d'un indice pollution-population, l'analyse des coûts collectifs de l'impact sanitaire des pollutions et l'évaluation des risques sanitaires. Comme cité précédemment, cette étude a mis en exergue des risques de dépassements de seuils toxicologiques pour certains polluants en situation dite actuelle.

Des investigations complémentaires (deuxième niveau d'approche) ont été décidées pour réévaluer les risques sanitaires présentés dans le chapitre 15 de l'étude Cap Environnement / KTT-iMA / Numtech.

Ces investigations ont été présentées dans les rapports précédents (cf. § 1.2 ci-dessus) et ont porté sur une réactualisation et un affinage de l'étude et la mise en place de mesures de la qualité de l'air, des sols et des végétaux.

2.2. La réactualisation de l'étude

Cette étape a permis de mettre à jour les informations présentées dans l'étude de Cap Environnement au regard de la réglementation et des connaissances scientifiques applicables actuellement à l'évaluation des risques sanitaires. Cela a porté notamment sur l'identification des dangers et la définition des relations dose-réponse (chapitre XV-2.1., pages 121 à 135 de l'étude Cap Environnement).

² Cap Environnement/KTT-IMA/Numtech, A630-Mise à 2x3 voies de la rocade ouest bordelaise de l'échangeur 4 à 15 inclus – Réalisation de l'étude Air et du volet Air de l'étude d'impact de l'échangeur 11 à 15, Rapport d'étude – Version V3 du 19/09/2007.

³ Cap Environnement/KTT-IMA/Numtech, A630-Mise à 2x3 voies de la rocade ouest bordelaise de l'échangeur 4 à 15 inclus – Réalisation de l'étude Air et du volet Air de l'étude d'impact de l'échangeur 11 à 15, Annexe au rapport d'étude – Version V3 du 19/09/2007.

Ces informations seront présentées dans ce rapport lors des premières étapes de l'évaluation des risques sanitaires.

2.3. L'affinage de l'étude

Parallèlement à la réactualisation de l'étude, BioMonitor a procédé à l'analyse du volet air et santé de Cap Environnement afin de compléter certains calculs de risque sanitaire et d'améliorer la connaissance des incertitudes affectant les résultats.

BioMonitor s'est donc attaché à caractériser la situation d'ensemble (impact de la rocade et du bruit de fond) pour l'ensemble des polluants concernés par l'étude en intégrant des valeurs de bruit de fond locaux (données disponibles dans l'étude précédente ou auprès du réseau AIRAQ). Pour le cas spécifique du chrome, les risques sanitaires du chrome VI par ingestion et inhalation ont été redéfinis sur la base d'une analyse bibliographique. Les risques sanitaires avaient en effet été évalués initialement pour le chrome en comparant les concentrations en chrome total à la VTR du chrome VI. **Cette étape a permis d'écartier le chrome de l'étude en montrant qu'aucun risque de dépassements du seuil toxicologique n'était observé si on considérait le chrome VI au lieu du chrome total.**

Dans l'analyse des incertitudes, les expressions numériques obtenues doivent être explicitées pour pouvoir être interprétées. Les hypothèses et les facteurs d'incertitude doivent en effet être spécifiés pour apporter les éléments nécessaires à la discussion et mettre en exergue les points de l'évaluation où un effort supplémentaire dans l'acquisition de données peut réduire de façon substantielle l'incertitude entourant le résultat.

L'étude initiale avait présenté les facteurs d'incertitude ayant pour effet de sous-estimer et sur-estimer les risques et ceux dont l'effet sur les risques était inconnu. L'évaluation qualitative des risques a notamment présenté les incertitudes liées à la toxicité des polluants (choix des polluants, définition de la relation dose-effet, possibilité d'interaction liée à une exposition concomitante, etc.) et celles liées à l'évaluation de l'exposition (définition des populations et des usages, modèles utilisés, définition des paramètres, etc.). Cette analyse qualitative a été complétée par une étude de sensibilité ou analyse semi-quantitative (consistant à modifier la valeur de chaque paramètre d'entrée en laissant les autres paramètres à leur valeur nominale). Les points ayant conduit aux dépassements des seuils toxicologiques ont été analysés.

Ces informations seront présentées dans ce rapport lors de l'étape d'évaluation des incertitudes des risques sanitaires.

2.4. Mise en place de campagnes de mesures

La réalisation d'une évaluation des risques sanitaires passe par la caractérisation de l'état initial du site qui permet d'une part de décrire la qualité environnementale du domaine d'étude à partir de données connues et mesurées au moment de l'étude et d'autre part de disposer de données de référence qui s'avéreront utiles lors de la réalisation éventuelle d'un bilan après la mise en service de l'aménagement à 2x3 voies. Cette phase consacrée à la réalisation de mesures de la qualité de l'air, des sols et de végétaux a permis d'évaluer le niveau de concentration actuelle de certains polluants sur des secteurs sensibles ayant présenté des dépassements de seuils sanitaires. Elle a également permis d'améliorer la connaissance des scénarii d'exposition sur ces secteurs sensibles et *in fine* d'affiner l'évaluation des risques sanitaires.

L'ensemble de la démarche et des résultats sont présentés dans ce rapport. Cette étape permet de caractériser l'état initial du domaine d'étude et constitue le point de départ de toute évaluation des risques sanitaires.

3. L'ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

3.1. Champ d'investigation

L'étude est limitée au réexamen des risques associés aux polluants pour lesquels l'Etat a pris des engagements et à l'amélioration des scénarii d'exposition sur les sites sensibles présentant des risques sanitaires. L'évaluation des risques sanitaires de deuxième approche⁴ est réalisée au droit des seuls secteurs sensibles ayant fait l'objet d'une instrumentation sur le terrain (phase 2 de l'étude).

L'étude sanitaire porte sur l'évaluation des expositions des populations soumises aux polluants atmosphériques. Elle concerne la voie dite « par inhalation » (ou « voie respiratoire ») et la voie dite « par ingestion » (ou « voie orale »). Le vecteur d'exposition représenté par l'eau n'est pas considéré. En effet, selon l'étude de Cap Environnement, la contamination de l'eau potable provenant des captages situés dans la bande d'étude « par les polluants émis par les véhicules circulant sur l'A630 apparaît comme très limitée. De même, l'ingestion accidentelle d'eau par les baigneurs fréquentant les sites dédiés à la baignade en plein air situés sur la bande d'étude n'est pas étudiée car jugée très minoritaire ». Enfin, « la consommation de poissons pêchés dans la bande d'étude ne semble pas une voie majoritaire d'exposition ».

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation des risques sanitaires ne portera que sur les polluants ayant fait l'objet d'un dépassement du seuil, à savoir le dioxyde d'azote, les PM2,5, l'arsenic, le baryum, le cadmium et le mercure. Les risques calculés en 2007 pour les autres polluants seront considérés en l'état. L'objectif n'est pas de procéder à la réévaluation des risques sanitaires pour l'ensemble des polluants et sur l'ensemble du domaine d'étude.

L'étude ne prévoit pas de modélisation de la dispersion atmosphérique. Les simulations de concentrations et de dépôts effectués par Cap Environnement / Numtech / KTT-iMA à l'horizon 2020 seront réutilisées dans l'évaluation des risques sanitaires pour caractériser les risques à l'état futur pour tous les polluants.

3.2. Choix de la démarche

La réalisation du volet santé suit une démarche prédéfinie dont le cadre s'inspire de la directive 93/67/CE⁵. La démarche adoptée suit également les préconisations de l'Institut de veille sanitaire (InVS), de l'INERIS⁶ et de la note méthodologique annexée à la circulaire du 25 février 2005. L'ensemble de la démarche est présenté dans la circulaire DGS n°61-2000 du 3 février 2000 sur

⁴ L'approche de premier niveau consiste à sélectionner des données générales, notamment sur les habitudes comportementales et de consommation alimentaire des populations. En fonction des enseignements tirés de cette approche de 1er niveau, un approfondissement peut être nécessaire afin d'affiner la caractérisation de l'exposition et donc du risque encouru. Cet approfondissement correspond à l'approche de 2^e niveau.

⁵ Directive 93/67/CEE de la Commission, du 20 juillet 1993, établissant les principes d'évaluation des risques pour l'homme et pour l'environnement des substances notifiées conformément à la directive 67/548/CEE.

⁶ Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS), 2003. Evaluation des risques sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des installations classées pour la protection de l'environnement. Guide Méthodologique.

l'analyse des effets sur la santé dans les études d'impact. La démarche d'évaluation des risques comporte les étapes successives suivantes :

- bilan des données existant sur la zone d'étude (populations concernées, types d'activité humaine, etc.) : ces données ont été présentées dans le rapport de Cap Environnement : à ce stade sont présentées les données complémentaires des concentrations des polluants mesurées en 2010 dans l'air, dans le sol et dans les légumes ;
- identification des dangers, dont l'objet est de recenser les agents chimiques, physiques et biologiques prenant part de quelque manière que ce soit à l'activité, de sélectionner les plus représentatifs et de présenter leur danger potentiel ;
- définition des relations dose-réponse, dont l'objet est de préciser les critères de jugement d'une situation donnée et de choisir les paramètres (valeurs toxicologiques de référence) permettant de juger de la situation ;
- estimation des expositions avec notamment la détermination des concentrations dans les différents media environnementaux entrant en contact avec l'homme.
- caractérisation des risques qui consiste à quantifier les risques liés au projet d'aménagement pour les populations avoisinantes.

3.3. Bases réglementaires et méthodologiques

L'étude santé sera réalisée conformément :

- à la circulaire MATE n° 98-36 du 17 février 1998, relative à l'application de l'article 19 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, complétant les études d'impact des projets d'aménagement,
- à la circulaire DGS / VS 3 n° 2000/60 du 3 février 2000, relative au guide de lecture et d'analyse du volet sanitaire des études d'impact,
- à la circulaire DGS n° 2001-185 du 11 avril 2001, relative à l'analyse des effets sur la santé dans les études d'impact,
- à la circulaire DGS n° 2004 – 42 du 4 février 2004,
- à la circulaire Equipement / Santé / Ecologie du 25 février 2005,
- à la note méthodologique sur l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impacts routières,
- au rapport du groupe de travail, de novembre 2004 : sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières,
- à la circulaire DGS/ SD7B n°2006-634 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des agents chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener l'évaluation des risques sanitaires dans le cadre de l'étude d'impact,
- au guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impacts, InVS de 2000.

3.4. Contenu du rapport

Le document suit la démarche d'évaluation des risques sanitaires en présentant dans des chapitres distincts les principaux volets de cette évaluation des risques.

Tout d'abord, le **chapitre 4** sera consacré à la présentation des mesures des concentrations des polluants dans l'air, les sols et les végétaux. La partie relative à la description du projet et de son environnement a déjà fait l'objet de rapports d'étude séparés dans le cadre du volet air des études d'environnement.

Le **chapitre 5** présente l'ensemble des dangers mis en jeu et le choix des valeurs toxicologiques de référence. Cette phase mettra à jour les informations présentées dans l'étude de Cap Environnement au regard de la réglementation et des connaissances scientifiques applicables actuellement à l'évaluation des risques sanitaires.

Ensuite, le cœur du document est constitué des chapitres **6** à **7** consacrés à l'évaluation de l'exposition et des risques sanitaires liés à chaque medium d'exposition (air, sol et végétaux). Dans ces deux chapitres sont présentées toutes les hypothèses de scénarii d'exposition, l'ensemble des paramètres utilisés, les résultats obtenus, les incertitudes inhérentes aux calculs.

La conclusion générale de l'évaluation des risques sanitaires fait l'objet du **chapitre 8**.

4. ETAT INITIAL DU SITE, CAMPAGNE DE MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR, DES SOLS ET DES VEGETAUX

4.1. Principe de la démarche

L'étude de l'état initial du site constitue la première étape de l'évaluation des risques sanitaires. Elle respecte le contenu imposé par le niveau de l'étude (niveau I) tel que définie dans la note méthodologique annexée à la circulaire du 25 février 2005 et répond aux démarches proposées par différentes instances pour les évaluations des risques sanitaires, notamment dans les documents suivants :

- SETRA, décembre 2004, La pollution des sols et des végétaux à proximité des routes, Les éléments traces métalliques (ETM), note n°73 ;
- Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux, document de travail piloté par l'ADEME et l'INERIS, version 0 (2007),
- CERTU/SETRA, janvier 2008, Etudes d'impact d'infrastructures routières – Volet « air et santé », Etat initial et recueil des données, 2007, ISSN : 1263-2570, ISRN : Certu/RE-07-12—FR,
- CERTU/SETRA, décembre 2006, Fourchettes de concentration de polluants dans l'air en fonction des typologies de sites, rural /urbain /périurbain, trafic, ISSN : 1263-2570, ISRN : Certu/R.10-7-12 - FR.

Les moyens métrologiques mis en oeuvre pour cette étude seront étudiés au regard des techniques métrologiques et analytiques habituellement utilisées pour l'évaluation des risques sanitaires. Les moyens déployés sont conformes aux guides techniques et aux normes internationales (ISO) ou nationales (AFNOR).

4.2. Choix des polluants à analyser

Dans le domaine particulier de la route, un groupe de travail piloté par l'InVs a sélectionné les agents dangereux à prendre en considération dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières. Ces polluants ont été repris dans la note méthodologique « air et santé » annexée à la circulaire du 25 février 2005 (**tableau 1**) et ont été présentés dans l'étude Cap Environnement / KTT-IMA / Numtech. Dans le cadre de la présente étude, les analyses de polluants dans les compartiments environnementaux ne concernent que les polluants ayant présenté, pour la voie d'exposition considérée, des dépassements des risques sanitaires. Cela concerne le dioxyde d'azote et les particules diesel pour l'exposition par inhalation (mesures de la qualité de l'air) et l'arsenic, le baryum, le cadmium, et le mercure pour l'exposition par ingestion (mesures de la qualité des sols et des

végétaux). Les éléments concernés par cette étude sont surlignés en bleu dans le **tableau 1**. Ce sont ces derniers polluants qui ont donc été retenus pour la caractérisation initiale.

Tableau 1 : Substances proposées pour leur prise en compte dans les évaluations du risque sanitaire dans le cadre d'études d'impact d'infrastructures routières selon la voie d'exposition et les effets sanitaires

Substance	Exposition aiguë	Exposition chronique par inhalation, effets cancérigènes	Exposition chronique par voie orale, effets cancérigènes	Exposition chronique par inhalation, effets non cancérigènes	Exposition chronique par voie orale, effets non cancérigènes
1,3-butadiène		X		X	
acétaldéhyde		X		X	
Acroléine	X			X	
Arsenic		X	X		X
Baryum					X
Benzène	X	X		X	
Benzo[a]pyrène		X	X		
Cadmium		X		X	X
Chrome		X			X
Dioxyde d'azote	X			X	
Dioxyde de soufre	X				
Formaldéhyde		X		X	
Mercuré					X
Nickel		X		X	X
Particules diesel ^a		X		X	
Plomb				X	X

^a Dans cette étude, les particules diesel seront considérées comme des PM_{2,5} même si elles ne constituent pas la totalité des PM_{2,5} mesurées dans l'air ambiant. En effet, les particules diesel sont constituées d'agglomérats d'une taille comprise entre 10 nm et 0,5 µm et sont donc comprises dans les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm. (Source : Gagnepain L, Plassat G, Peugeot 607 équipés de filtres à particules. Bilan des émissions de polluants et de la consommation en conditions d'utilisation taxi pendant 120 000 km, Valbonne : ADEME, Département technologies des transports ; 2005).

4.3. Stratégie d'implantation et de sélection des stations de mesures

4.3.1. Méthodologie générale

Les stations de mesures ont été choisies selon une analyse multicritère menée en deux étapes.

La première étape a été réalisée à partir d'une analyse documentaire, et notamment à partir de l'étude air⁷ du groupement Cap Environnement / KTT-iMA / Numtech et de son annexe. Cette étude a recensé les points sensibles qui présentaient des dépassements des seuils sanitaires pour les différents polluants. Ces résultats ont permis de spatialiser les zones de prospection et de hiérarchiser les choix de sites de mesures.

La deuxième étape a été menée sur le terrain en deux interventions. Cette étape a permis de :

- faire un examen détaillé sur carte et sur le terrain afin de voir si la position et la configuration des points de mesures retenus lors de la première étape remplissaient les objectifs fixés par l'étude et réunissaient les conditions idéalement requises pour effectuer les mesures,
- sélectionner, dans le cas où les sites choisis lors de la première étape ne satisfaisaient pas aux critères de mesures, d'autres sites d'étude,
- définir les stations témoins de l'étude (pour les sols et les végétaux),
- obtenir les accords des propriétaires pour l'implantation des dispositifs de mesures ou les prélèvements des matrices environnementales.

⁷ Cap Environnement/KTT-iMA/Numtech, A630-Mise à 2x3 voies de la rocade bordelaise de l'échangeur 4 à 15 inclus – Réalisation de l'étude Air et du volet Air de l'étude d'impact de l'échangeur 11 à 15, Rapport d'étude – Version V3 du 19/09/2007.

Cette deuxième étape a été réalisée :

- entre le 25 et le 28 janvier 2010 par les bureaux d'études BioMonitor et LECES,
- le 30 août et le 03 septembre 2010 par le bureau d'études BioMonitor lors de la réalisation des prélèvements de sols et de végétaux.

4.3.2. Analyse multicritères

4.3.2.1. Prise en compte des stations les plus impactées

L'implantation des sites de mesures a été déterminée à partir des résultats de la modélisation des concentrations en polluants calculées sur les points sensibles présents sur le domaine d'étude (148 points au total). Une description de ces points est présentée au chapitre III et à l'annexe 96 du rapport du groupement Cap Environnement/KTT-IMA/Numtech. Les points sensibles les plus exposés, définis dans le cahier des charges, ont été retenus. Ces points de mesures sont situés :

- en dehors des zones auxquelles le public n'a pas accès et où il n'y a pas d'habitat fixe,
- en dehors des chaussées et des terre-pleins centraux des routes,
- dans les zones où s'observent les plus fortes concentrations auxquelles la population est susceptible d'être directement ou indirectement exposée.

4.3.2.2. Prise en compte de la nature des points d'exposition

Les mesures ont été réalisées dans différents contextes d'exposition de la population (école, habitat, aire récréative) sur lesquels les modes d'exposition et les scénarii d'exposition sont différents. Ainsi, les résultats obtenus sur ces stations, accompagnés des principaux éléments descriptifs des points d'exposition et de la population concernée, permettent de construire différents scénarii d'exposition.

4.3.2.3. Prise en compte de la localisation des points d'exposition

Conformément au cahier des charges, le nombre et la localisation des points de prélèvements ont été répartis le long de la rocade A630.

En ce qui concerne les sols et les végétaux, certains prélèvements sont localisés sur des stations considérées comme représentatives du bruit de fond local dans la bande d'étude uniquement. Ces prélèvements sont placés à 100 m au minimum de la rocade et des axes principaux situés dans la bande d'étude conformément aux informations contenues dans la note n°73 du SETRA⁸.

4.3.2.4. Décisions du comité de pilotage de l'étude

BioMonitor a proposé :

- des points de prélèvements situés dans des zones enherbées correspondant à des aires récréatives ; ces points avaient été proposés pour donner des informations sur les concentrations attendues dans l'herbe et les sols associés, afin d'établir des scénarii de contamination de la production laitière locale ; comme les investigations de terrain ont montré l'absence de zones à pâture à proximité immédiate de la rocade, il a été décidé de ne pas sélectionner ce type de point d'exposition, du fait que les scénarii d'exposition associés seraient irréalistes ;
- des points de prélèvements situés dans les zones viticoles les plus proches de la rocade afin d'obtenir des informations sur la qualité des raisins. Il a été décidé de ne pas sélectionner ces

⁸ SETRA, décembre 2004, La pollution des sols et des végétaux à proximité des routes, Les éléments traces métalliques (ETM), note n°73.

zones en raison de la difficulté potentielle d'affectation des anomalies à un émetteur particulier, et tout particulièrement pour l'arsenic qui est un élément que l'on retrouve dans les pesticides utilisés par les viticulteurs ; de plus, ces points d'exposition étaient assez éloignés de la rocade et des principaux axes modélisés dans l'étude de Cap Environnement.

Les points de prélèvements initialement prévus dans les zones enherbées et les zones viticoles ont été remplacés par des points de prélèvements dans des jardins potagers et des écoles.

4.3.3. Validation des stations

En dehors des objectifs fixés par l'étude pour le choix des points de mesures, la position précise des points de mesures sur le terrain a été également définie par les critères ci-après.

Pour les mesures de la qualité de l'air, il a été tenu compte :

- des critères d'emplacement définis dans la directive 1999/30/CE,
- des critères d'emplacement précisés par l'ADEME⁹,
- des critères d'installation des dispositifs de mesure (alimentation électrique, présence de candélabre, etc.),
- de la distance et de la hauteur du plus proche obstacle,
- des demandes d'autorisations nécessaires à l'installation des dispositifs de mesures,
- des risques de dégradation du matériel de mesures.

Pour les mesures de la qualité des sols et des végétaux, il a été tenu compte :

- de l'absence d'obstacles susceptibles d'affecter la circulation de l'air autour des points de prélèvement,
- de l'absence d'activités visibles susceptibles de générer une pollution pouvant influencer les résultats d'analyse (zone de brûlis, épandage de cendres, écobuage, brûlage des déchets, apports d'amendements),
- de l'origine du sol,
- des pratiques culturales mises en œuvre sur les jardins sélectionnés,
- de la présence ou non des espèces adéquates pour les prélèvements de légumes.

4.3.4. Sélection finale

Le **tableau 2** ci-après présente les stations retenues pour le suivi des différentes matrices et leurs coordonnées géoréférencées. La **figure 1** ci-après présente la localisation des stations. La **figure 2** présente les différentes matrices prélevées et les polluants mesurés sur chaque station de mesures.

Des fiches de description des sites de mesure sont également présentées dans l'**annexe A-2**. Ces dernières présentent les coordonnées géoréférencées des stations (latitude, longitude et altitude), un descriptif de la zone d'implantation (accompagné de photographies), la topographie du site, la classification de la commune d'appartenance, la surface de la parcelle de prélèvement, les modes de distribution et de consommation de légumes et l'origine de l'eau utilisée pour l'arrosage des légumes. La dénomination des points spécifiques reprend la numérotation de l'étude Cap Environnement. Les stations sont présentées en allant du sud au nord du domaine d'étude et d'ouest en est.

⁹ ADEME, juin 2002, Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air.

Tableau 2 : Présentation des points de mesures

Stations	Nature du point d'exposition	Typologie	Localisation	Coordonnées (WGS84-DMS)	Matrices prélevées		
					Air	Sol	Légumes
95	Habitation	Proximité routière	41, Avenue du Pontet - Pessac	44°47'18" N 0°38'19" W			
95	Jardins potagers	Proximité routière	Les jardins du Soleil 39 bis avenue du Pontet - Pessac	44°47'20" N 0°38'27" W			
104	Habitation	Proximité routière	45, allée de la Forêt -Pessac	44°47'20" N N0°37'59" W			
93	Ecole	Proximité routière	Ecole Montesquieu allée des Mimosas - Pessac	44°47'23" N 0°37'51" W			
18	Stade	Proximité routière	7, avenue Aquitaine - Pessac	44°47'27" N 0°37'12" W			
160	Ecole	Proximité routière	Ecole maternelle Leygues avenue de la Chataigneraie Pessac	44°47'36" N 0°38'52" W			
19	Ecole	Bruit de fond	Groupe scolaire Edouard Herriot 21, avenue de Saige - Pessac	44°47'41" N 0°37'47" W			
149	Jardins potagers	Bruit de fond	45, avenue de Saint-Aignan Pessac	44°47'37" N 0°39'46" W			
118	Jardins potagers	Proximité routière	18, avenue de la première armée - Pessac	44°48'17" N 0°39'51" W			
158	Ecole	Proximité routière	Groupe scolaire J. Cartier 35, rue Joseph Paul-Boncour Pessac	44°48'43" N 0°40'15" W			
151	Jardins potagers	Proximité routière	14, rue Jean Monnet - Merignac	44°49'09" N 0°40'36" W			
152	Jardins potagers	Bruit de fond	12, rue Paul Cézanne - Merignac	44°49'31" N 0°40'05" W			
43	Stade	Bruit de fond	Complexe Daniel Colombin Allée des Acacias - Merignac	44°50'18" N 0°41'03" W			
122	Jardins potagers	Proximité routière	5, rue Elsa Triolet - Merignac	44°51'13" N 0°39'45" W			
45	Ecole	Proximité routière	Ecole maternelle Jean Macé 2, rue Georges Courteline Mérignac	44°50'28" N 0°39'40" W			
38	Maison de retraite	Proximité routière	Résidence Medicis 72, avenue du Truc - Mérignac	44°51'06" N 0°39'55" W			
124	Jardins potagers	Proximité routière	1, allée du Limancet - Eysines	44°51'49" N 0°39'26" W			
161	Ecole	Bruit de fond	Ecole primaire E. Herriot 14, rue du 19 mars 1962 - Mérignac	44°51'34" N 0°39'15" W			
73	Ecole	Proximité routière	Groupe Scolaire Migron Rue des Violettes - Eysines	44°52'18" N 0°38'18" W			
154	Jardins potagers	Bruit de fond	13, avenue du Derby - Eysines	44°52'39" N 0°38'10" W			
101	Jardins potagers	Proximité routière	21, allée d'Ascot - Eysines	44°52'36" N 0°37'55" W			
101	Habitation	Proximité routière	38, rue du Champ de course - Eysines	44°52'41" N 0°37'47" W			
130	Petite enfance	Bruit de fond	Crèche le Petit Prince 5, rue Camille Saint-Saens - Bruges	44°53'03" N 0°36'46" W			
84	Stade	Proximité routière	Centre Sportif Daugere -rue Daugere - Bruges	44°53'15" N 0°35'28" W			
157	Jardins potagers	Proximité routière	121, avenue de Verdun - Bruges	44°53'14" N 0°37'10" W			
156	Jardins potagers	Bruit de fond	Les Jardins Girondins Chemin de Labattut - Bruges	44°53'25" N 0°37'16" W			

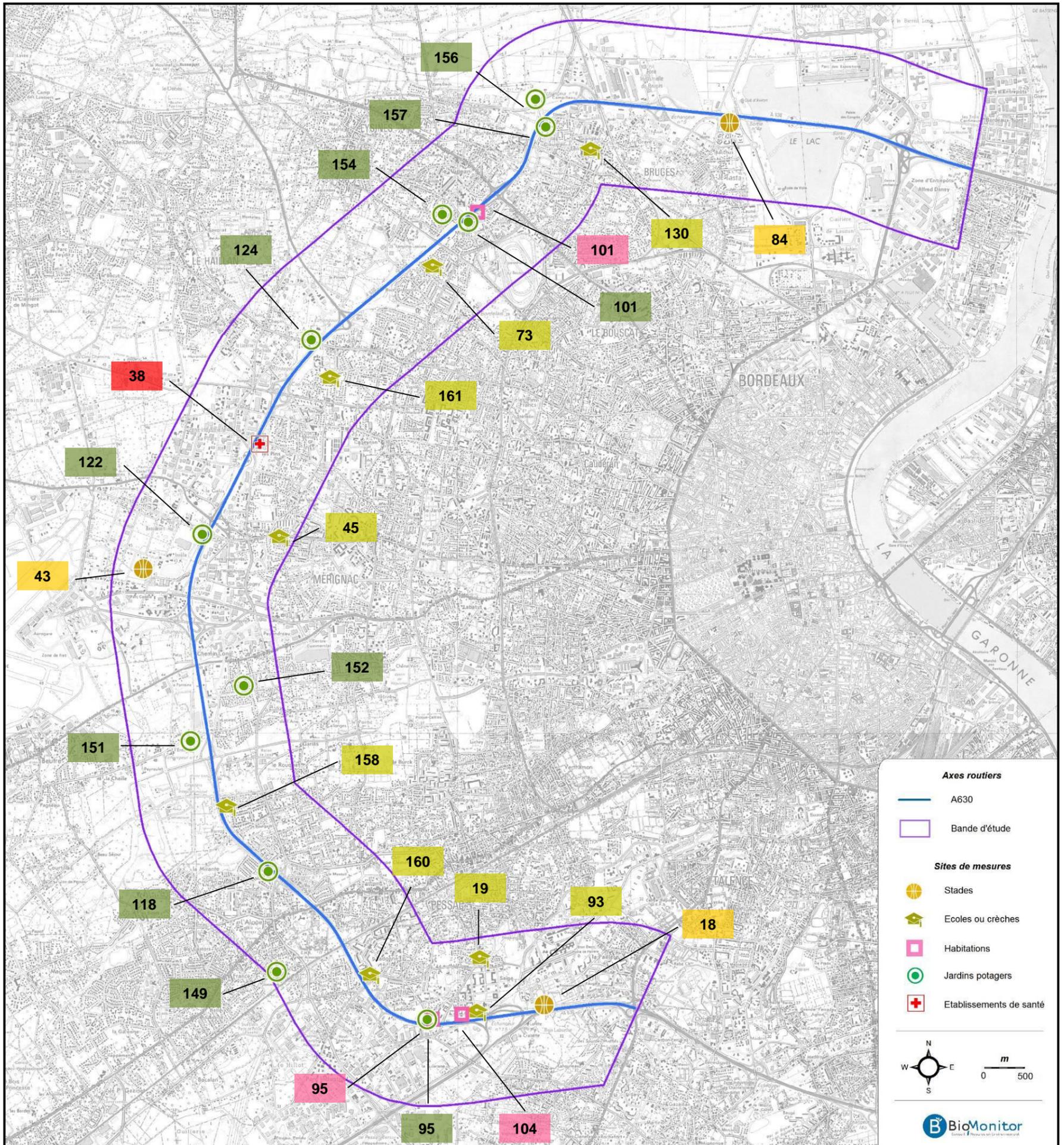


Figure 1 : Localisation des stations de mesure

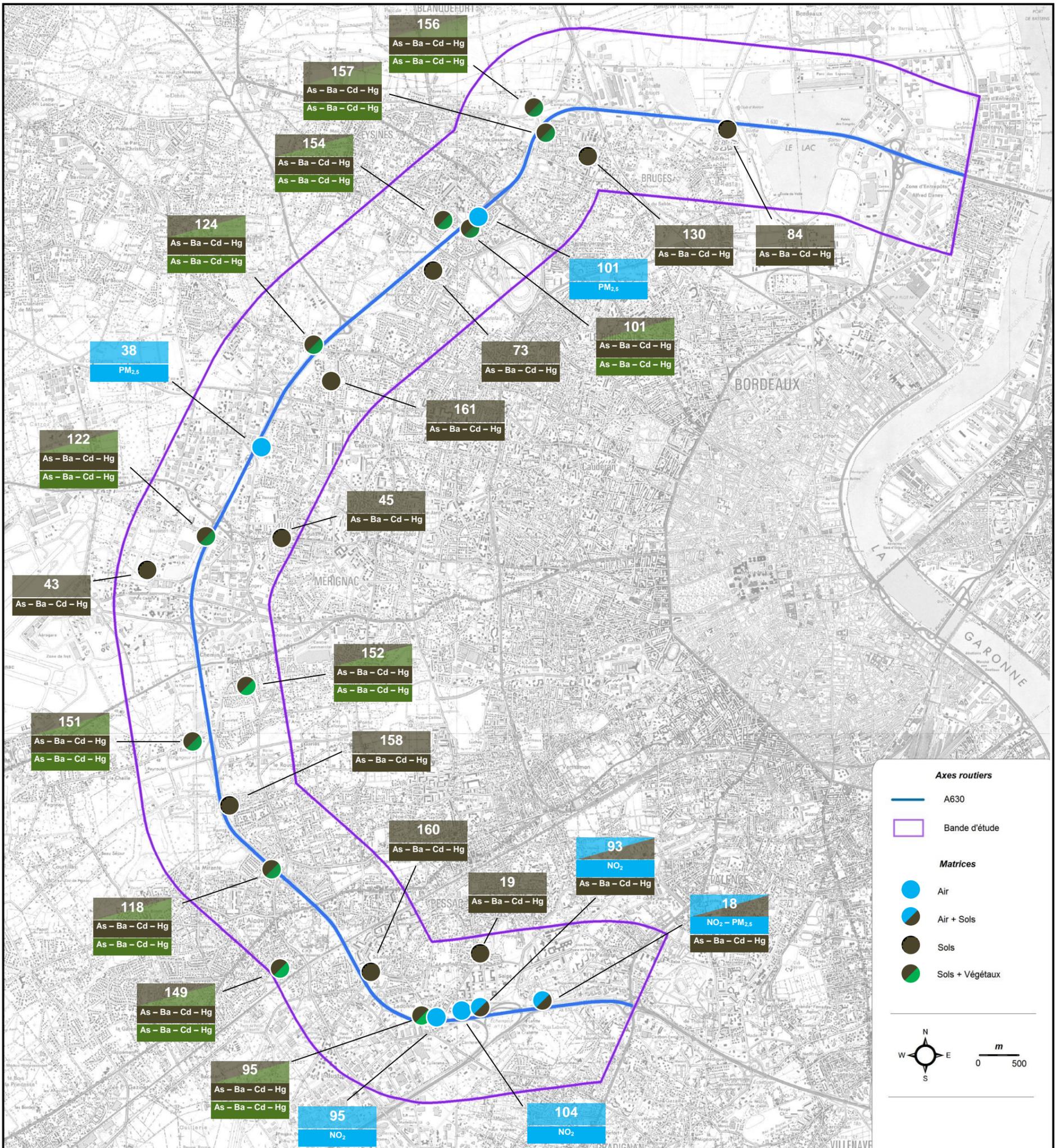


Figure 2 : Répartition des matrices prélevées et des polluants mesurés sur chaque point de mesure

a) Pour les poussières

L'évaluation des risques sanitaires a mis en évidence des risques de dépassement des seuils sanitaires pour les poussières pour une exposition chronique par inhalation à moins de 200 m de la rocade, si l'on tenait seulement compte des résultats de la modélisation des concentrations en particules diesel imputables aux émissions de la rocade. Des dépassements ont notamment été observés sur de nombreux points spécifiques situés le long de l'A630.

Les étapes de prospection et de validation des stations de mesures ont permis de sélectionner les points sensibles :

- qui présentaient les valeurs de risques les plus importantes,
- qui appartenaient à trois contextes d'exposition différents.

Au final, les trois sites sensibles retenus sont les points 18, 38 et 101.

b) Pour le dioxyde d'azote

L'évaluation des risques sanitaires a mis en évidence des risques de dépassement des seuils sanitaires pour des expositions aiguës par inhalation au dioxyde d'azote à moins de 200 m de la rocade et de façon très localisée, au niveau de l'échangeur n° 15. Ces dépassements sont observés si l'on considère l'exposition cumulée au bruit de fond local et aux émissions de la rocade. Ils ont été évalués aux points spécifiques 18, 93, 95 et 104 pour les effets aigus et au point 18 pour les effets chroniques. Tous ces points ont fait l'objet d'une instrumentation sur le terrain.

c) Pour les ETM (As, Ba, Cd et Hg)

BioMonitor a sélectionné 22 stations. Des prélèvements de sols ont été effectués sur toutes les stations, soit 14 stations d'impact automobile (ou « de proximité routière ») et 8 stations de fond urbain. Tandis que des prélèvements de végétaux ont été effectués sur 11 stations (7 stations d'impact et 4 de fond). La répartition des prélèvements est présentée dans le **tableau 3**.

Tableau 3 : Répartition des prélèvements

Typologie	Type de prélèvement	Nombre de prélèvements		
		Impact	Fond	Total
Ecole ou équipement sportif	Sol	7	4	11
Jardins potagers	Sol et légumes	7	4	11
Total		14	8	22

4.4. Méthodologie d'intervention

La méthodologie d'intervention des campagnes de mesures est présentée à l'**annexe A-3**. Elle porte sur :

- la stratégie d'échantillonnage,
- la nature de l'échantillonnage et le traitement des échantillons,
- les procédures analytiques.

4.5. Mesures de la qualité de l'air

4.5.1. Campagnes de mesures

Deux campagnes de mesure ont été réalisées, correspondant à une période hivernale et une période estivale. Chaque campagne a duré 28 jours. Selon la directive 2008/50/CE, la surveillance doit couvrir 14 % de l'année afin d'être comparée à des valeurs limites annuelles et pour être représentative de conditions météorologiques moyennes.

Le détail des périodes de mesures est présenté dans le **tableau 4**.

Tableau 4 : Périodes de mesure.

Campagne	Période de mesure		
	NO ₂ par tubes passifs	NO ₂ en continu	Poussières PM _{2,5}
Campagne hiver	23/02 au 10/03/10	24/02 au 25/03/10	24/02 au 25/03/10
	10/03 au 24/03/10		
Campagne été	31/08 au 14/09/10	05/09 au 28/09/10	31/08 au 28/09/10
	14/09 au 29/09/10		

A chaque campagne de mesure, la pose et la dépose du matériel de mesure a été effectuée sur une période la plus réduite possible afin que les échantillons prélevés soient représentatifs de la même période d'exposition, pour les deux polluants mesurés.

4.5.2. Exploitation des données météorologiques

Les phénomènes de pollution atmosphérique dépendant étroitement des conditions météorologiques, il est indispensable de renseigner les conditions météorologiques rencontrées lors des campagnes de mesures de la qualité de l'air. Les données sont celles de la station Météo France de Bordeaux-Mérignac.

4.5.2.1. Evolution de la température et de la pluviométrie pendant les campagnes de mesures

La **figure 3** ci-après, présente l'évolution de la pluviométrie et de la température lors de la première campagne de mesure (campagne hivernale).

Sur la période étudiée (du 24/02/10 au 25/03/10), il est tombé 36 mm de pluie (sur 11 journées). Les précipitations se déclinent en deux épisodes pluvieux sur la période de mesures :

- du 24 au 3 mars avec 20 mm,
- du 19 au 25 mars avec 16 mm.

La journée la plus pluvieuse a été celle du 25 mars avec 12 mm de précipitations, soit un tiers des précipitations enregistrées sur le mois de mesures.

Sur cette première période de mesures, la température moyenne a été de 8,5 °C. La température moyenne journalière la plus basse a été enregistrée le 11 mars avec 1 °C et le maximum a été enregistré le 24 mars avec 15 °C.

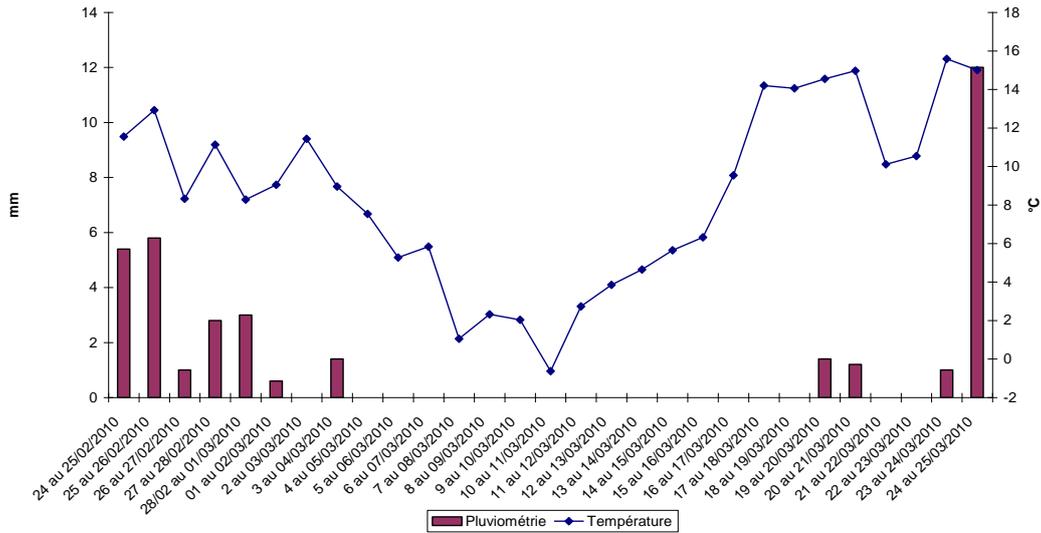


Figure 3 : Evolution de la pluviométrie et de la température lors de la première campagne de mesure (du 24/02/10 au 25/03/10)

La figure 4, présente l'évolution de la pluviométrie et de la température lors de la deuxième campagne de mesure (campagne estivale).

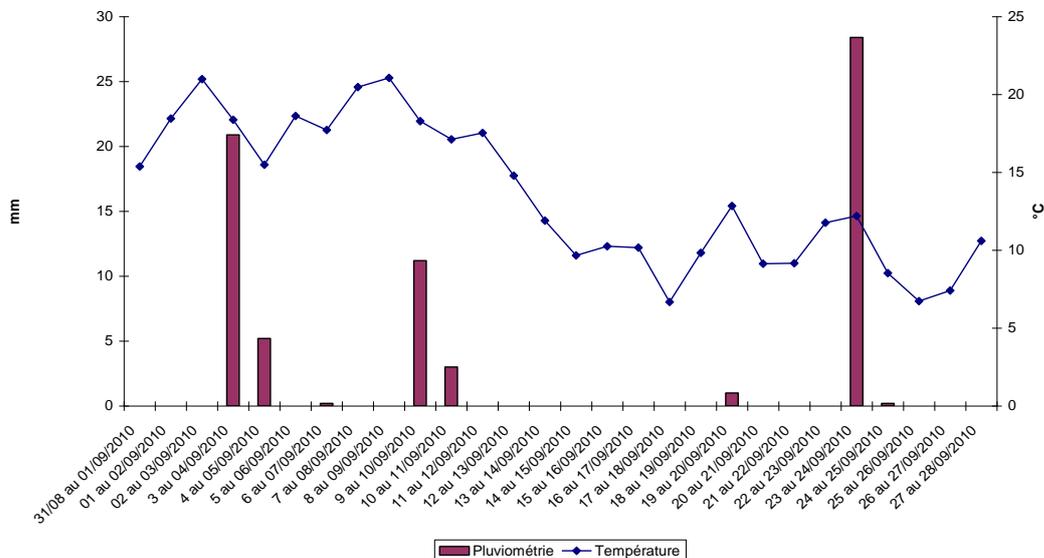


Figure 4 : Evolution de la pluviométrie et de la température lors de la deuxième campagne de mesure (du 31/08/10 au 28/09/10)

Lors de cette deuxième campagne de mesures, les précipitations ont été plus importantes que lors de la première période de mesures. Les journées pluvieuses ont été moins nombreuses (8 au total) mais les précipitations cumulées ont été plus importantes. Il est tombé 70 mm de pluie sur cette deuxième période de mesures.

La température moyenne a été de 13,6 °C. Les températures les plus faibles ont été mesurées dans la deuxième quinzaine de mesures. La température moyenne journalière la plus basse a été enregistrée le 18 septembre avec 7 °C et le maximum a été enregistré le 2 septembre avec 20 °C.

4.5.2.2. Les vents

a) Les normales saisonnières

Afin de situer les régimes des vents rencontrés lors des périodes de mesures, il est nécessaire d'étudier les conditions météorologiques rencontrées généralement dans la région. Il est donc proposé ci-après une analyse des régimes des vents :

- représentatifs des normales saisonnières entre 2000 et 2009,
- représentatifs des hivers entre 2000 et 2009 (incluant tous les mois de janvier, février et mars),
- représentatifs des étés entre 2000 et 2009 (incluant tous les mois de juillet, août et septembre).

Les roses des vents sont présentées sur la **figure 5** et sont détaillées en **annexe A-4**.

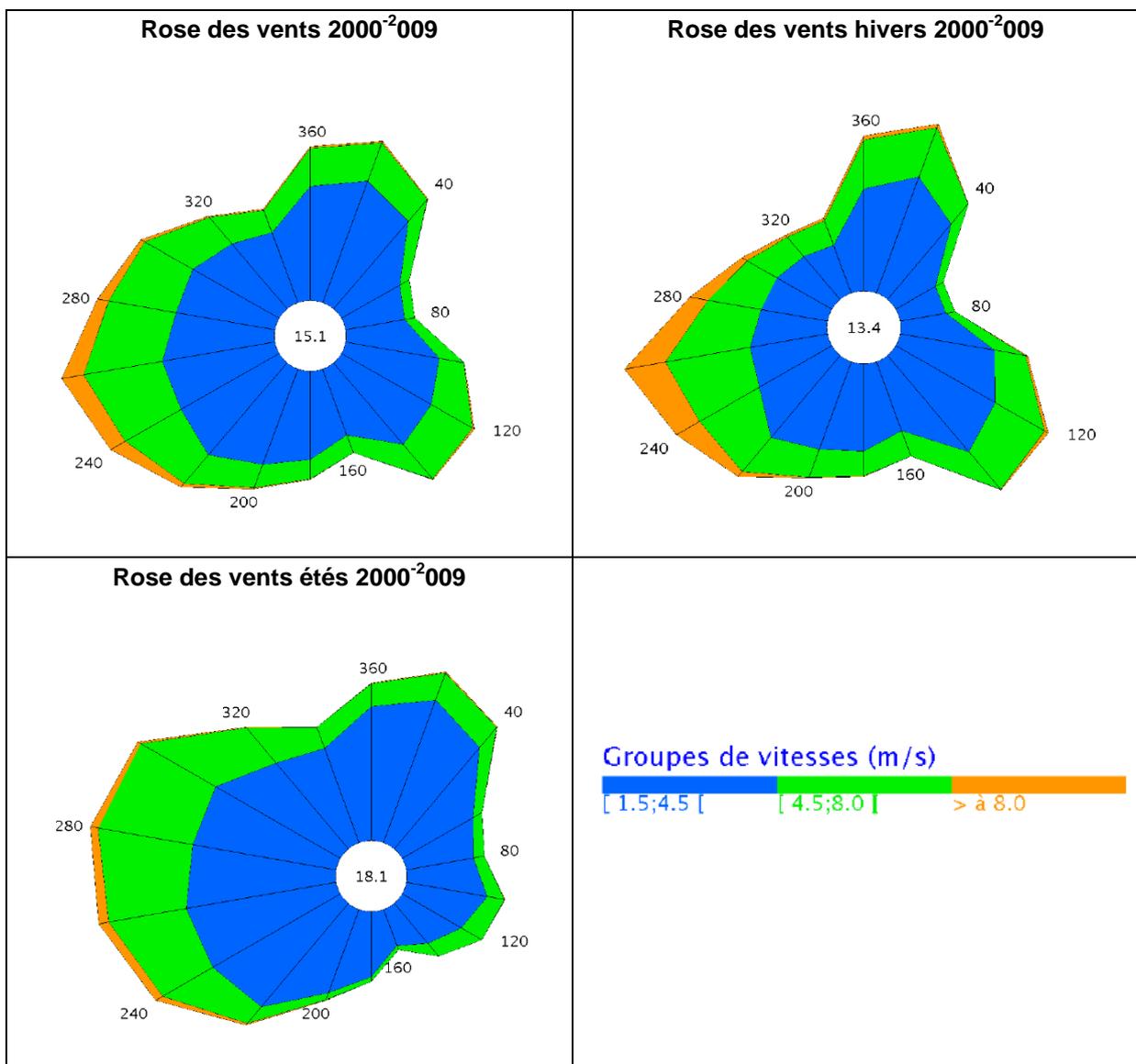


Figure 5 : Présentation des roses des vents représentatives des normales saisonnières

Ces roses des vents présentent les fréquences des vents exprimées en pourcentage en fonction de leur provenance (origine des vents et non direction des vents) et en fonction des classes de force des vents (en m/s).

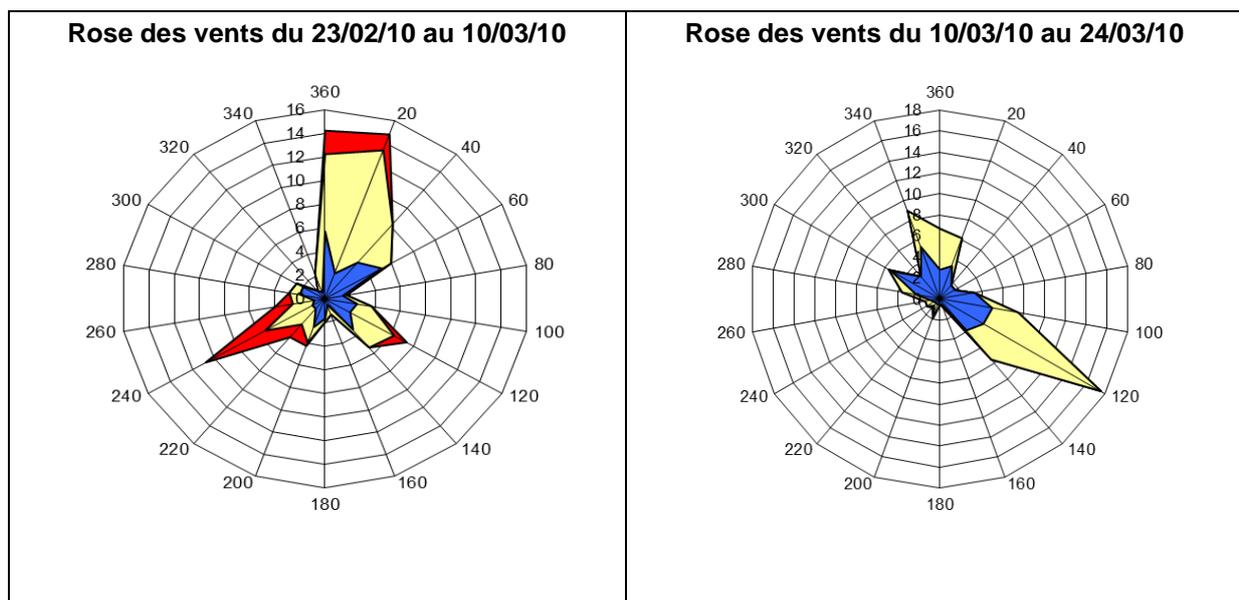
Globalement, les vents mesurés pour la période de 2000 et 2009 présentent les mêmes caractéristiques que celles observées sur les roses des vents représentatives des hivers et des étés 2000 à 2009. Sur ces trois roses des vents, on constate que les vents faibles (compris entre 1,5 et 4,5 m/s) sont les plus fréquents, ce qui est peu propice à la dispersion des polluants. Ils représentent de 56 % à 62 % des observations. Ces vents proviennent de toutes les directions avec une tendance notable pour les directions nord-est, sud-est et la façade ouest. En forcissant, les vents modérés (compris entre 4,5 et 8 m/s), présentent également les mêmes directions dominantes. Les vents dont la vitesse est supérieure à 8 m/s sont moins fréquents (entre 1,2 % et 4,5 %) et sont quant à eux principalement des vents de secteur sud-ouest à nord-ouest (240°-300°).

b) Les régimes des vents pendant les campagnes de mesures hivernales

Les régimes des vents enregistrés pendant les périodes de mesures sont présentés sur la **figure 6** ci-après. Les roses des vents détaillées sont présentées en **annexe A-4**.

La campagne hivernale du 23 février au 10 mars a présenté des vents dominants ayant comme origine le secteur nord à nord-est (0° - 60°) et dans une moindre mesure le sud-est (120°) et l'ouest/sud-ouest (240°). Les dominantes observées lors de cette campagne sont représentatives des normales saisonnières intégrant les mois de janvier, février et mars entre 2000 et 2009. Toutes les vitesses de vents sont bien représentées.

Les vents mesurés du 10 mars au 24 mars 2010 ne présentent pas les mêmes tendances que celles observées lors de la campagne précédente. En effet, lors de cette période, les vents provenaient essentiellement du sud-est (120°). Une dominante secondaire regroupe les vents en provenance du nord. Il n'y a pas de vents dont la vitesse soit supérieure à 8,5 m/s, ce qui est peu propice à la dispersion des polluants et ce qui place la mesure dans des conditions de majoration des concentrations. Lors de cette période, les occurrences de vents traditionnellement observées en provenance de l'ouest n'ont pas été présentes.



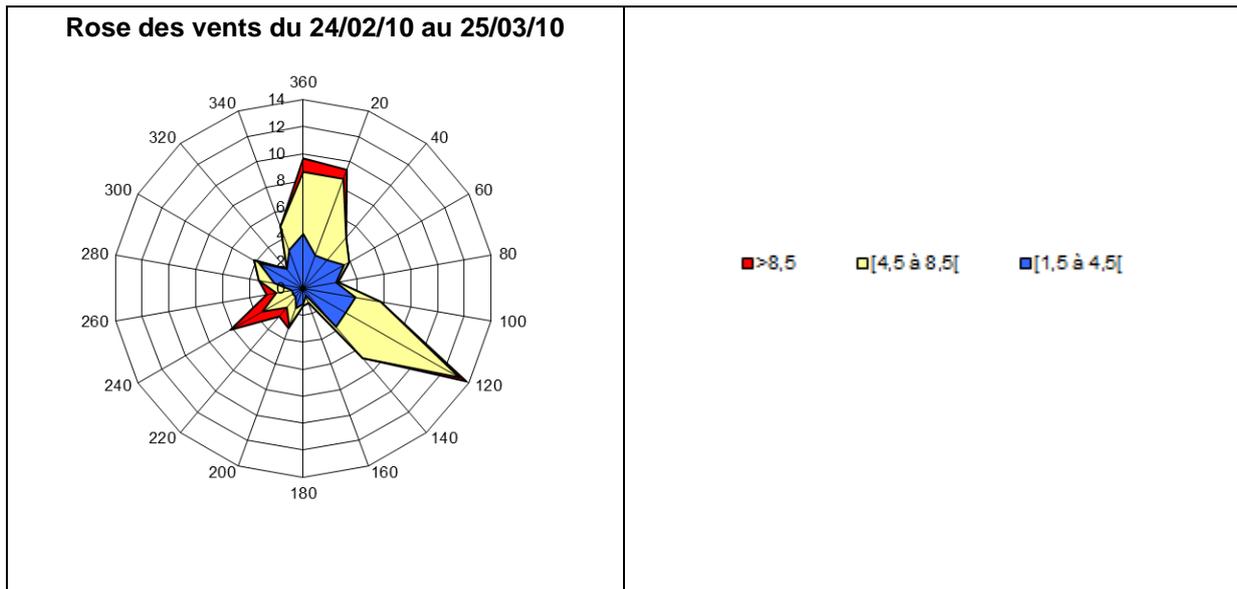


Figure 6 : Présentation des roses des vents représentatives des périodes de mesures hivernales

La rose des vents établie à partir de l'ensemble des conditions de vents mesurées lors des deux séries de mesures de deux semaines en saison froide (entre le 24 février et le 25 mars) est comparée à la rose des vents globale de 2000 à 2009 intégrant les mois de janvier, février et mars de 2000 à 2009. On retrouve les trois composantes majoritaires (nord-est, ouest-sud-ouest et sud-est). Toutefois, les composantes du nord-est et du sud-est sont plus développées que sur les dix dernières années. *A contrario*, la composante ouest est moins marquée. Concernant les vitesses, les vents modérés et les vents forts ont été plus représentés lors de cette première campagne de mesures, ce qui est plus propice à la dispersion des polluants.

c) Les régimes des vents pendant les campagnes de mesures estivales

Les régimes des vents enregistrés pendant les périodes de mesures sont présentés sur la **figure 7** ci-après. Les roses des vents détaillées sont présentées en **annexe A-4**.

Les vents mesurés du 31 août au 14 septembre 2010 ne présentent pas les mêmes tendances que celles observées lors des mois d'été entre 2000 et 2009 ou celles observées entre 2000 et 2009. En effet la composante ouest n'apparaît pas sur la rose des vents. *A contrario*, la dominante ayant pour origine le sud-est est plus développée. On retrouve des vents en provenance du nord. Par rapport aux normales saisonnières, on observe également une présence supérieure des vents modérés dont la vitesse est comprise entre 4,5 et 8 m/s. Les conditions de vent mesurées lors de cette période de mesures ont été peu représentatives des conditions de vent observées pendant les étés entre 2000 et 2009.

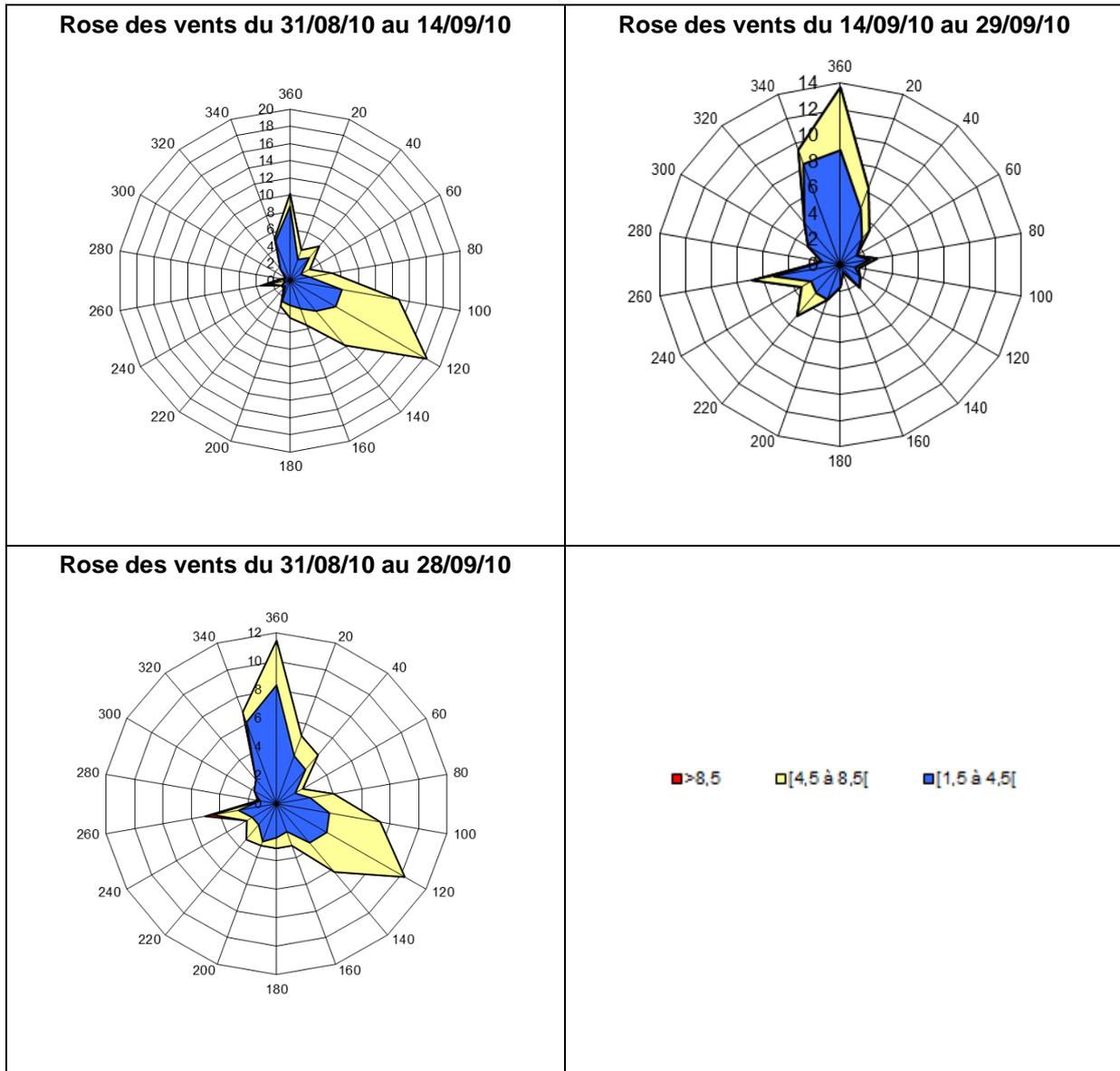


Figure 7 : Présentation des roses des vents représentatives des périodes de mesures estivales

Les mesures réalisées entre le 14 et le 29 septembre ont été marquées par l'absence de la composante sud-est au profit de la composante nord beaucoup plus importante que sur les 10 dernières années. La composante sud-ouest apparaît mais reste toujours moins développée que sur les dix dernières années. Concernant la répartition des vents, elle est représentative des conditions de vent des mois d'été des dix dernières années.

La rose des vents établie à partir de l'ensemble des conditions de vents mesurées lors des deux séries de mesure de deux semaines en saison chaude (entre le 31 août et le 28 septembre) est comparée à la rose des vents globale de 2000 à 2009 intégrant les mois de juillet, août et septembre de 2000 à 2009. On retrouve les trois composantes majoritaires (nord-est, ouest-sud-ouest et sud-est). Toutefois, comme en hiver, les composantes nord-est et sud-est sont plus développées que sur les dix dernières années. *A contrario*, la composante ouest est moins marquée. Concernant les vitesses, les vents modérés sont plus représentés lors de cette campagne de mesures.

d) Les taux d'exposition des stations

Les données horaires utilisées permettent d'évaluer le taux d'exposition en pourcentage pour lequel les points de mesure sont sous les vents des émissions de la rocade. Même s'il est difficile d'estimer l'influence exacte d'une source linéaire sur un point donné (contrairement aux sources fixes), ces taux d'exposition permettront d'évaluer l'évolution des expositions aux vents d'un point au cours des différentes campagnes de mesures par rapport à un secteur donné.

La méthode de calcul du taux d'exposition est la suivante. Chaque point de prélèvement est impacté par les émissions de la rocade sous un secteur de vent donné. Pour chaque point de prélèvement correspondant à un secteur de vent donné, on examine heure par heure, sur la période d'exposition d'un échantillon, le nombre d'heures pendant lesquelles la direction du vent horaire se situe dans ce secteur.

Le taux d'exposition est calculé de la façon suivante :

$$\text{Taux d'exposition/point de prélèvement (\%)} = \frac{\sum \text{heures sous vent}}{\text{durée échantillonnage (heures)}} \times 100$$

Le **tableau 5** ci-après présente les taux d'exposition moyens attendus au niveau des points de mesures en fonction du régime des vents observés entre 2000 et 2009.

Tableau 5 : Secteurs de vent pour lesquels les points de mesures sont sous les vents de la rocade

Points	Localisation	Sous les vents des émissions de la rocade ouest	Taux d'exposition moyen selon les données globales 2000 - 2009	Taux d'exposition moyen selon les données hivernales 2000 - 2009	Taux d'exposition moyen selon les données estivales 2000 - 2009
18	7, avenue Aquitaine (stade) Pessac	160-200°	11 %	13 %	7 %
93	Ecole Montesquieu, allée des Mimosas Pessac	160-200°	11 %	13 %	7 %
95	41, Avenue du Pontet Pessac	160-200°	11 %	13 %	7 %
104	45, allée de la Fôret Pessac	160-200°	11 %	13 %	7 %
38	Résidence Medicis 72, avenue du Truc Mérignac	280°-320°	16 %	12 %	21 %
101	38, rue du Champ de course Eysines	300-340°	13 %	10 %	17 %

4.5.3. Outils d'interprétation

4.5.3.1. Poussières en suspension PM_{2,5}

La directive européenne 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe fixe un objectif national de réduction de l'exposition, une valeur cible et une valeur limite pour les PM_{2,5}. La valeur cible devant être respectée au 1^{er} janvier 2010 est **25 µg/m³** en moyenne annuelle. La valeur limite de 25 µg/m³ devrait

être respectée au 1^{er} janvier 2015 ; d'ici là, une marge de dépassement est autorisée. Cette marge de dépassement qui était de 20 % en juin 2008 diminue tous les 12 mois par tranches annuelles égales pour atteindre 0 % au 1^{er} janvier 2015. A l'horizon 2020, la valeur limite devrait être abaissée à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.5.3.2. Dioxyde d'azote (NO_2)

L'article R221⁻¹ du Code de l'environnement fixe pour les concentrations en NO_2 :

- une valeur limite dans l'air à **40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** en moyenne annuelle,
- un objectif de qualité de l'air à **40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , en moyenne annuelle,
- un P98¹⁰ (valeurs moyennes par heure ou période inférieure à l'heure) de **200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** ,
- un P99,8¹¹ (valeurs moyennes par heure ou période inférieure à l'heure) de **200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

4.5.4. Résultats aux poussières en suspension PM2,5

Les mesures de poussières en suspension PM2,5 ont été effectuées :

- lors de la première campagne (hiver) du 24 février au 25 mars 2010 sur l'ensemble des points de mesure,
- lors de la deuxième campagne de mesure (été), du 31 août au 28 septembre 2010, sans interruption au point 101, avec une interruption du 10 au 13 septembre au point 38 (anomalie sur l'appareil) et du 31 août au 23 septembre 2010 au point 18 (anomalie sur l'appareil en fin de période de mesures).

Les résultats des mesures réalisées sont regroupés dans le **tableau 6** et représentés sur les figures **8** et **9**. Le détail complet des mesures journalières est présenté pour chaque site et chaque campagne dans les tableaux de l'**annexe A-5**. Dans ces tableaux figurent également les taux d'exposition pour lesquels les points de mesures étaient sous les vents des émissions de la rocade.

La **figure 10** présente de manière cartographique les moyennes annuelles calculées.

Tableau 6 : Concentrations en poussières en suspension PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Campagne	Point 18 : Stade de Pessac		Point 38 : Résidence de Medicis (Mérignac)		Point 101 : 38, rue du Champ de course (Eysines)	
	Hivernale	Estivale	Hivernale	Estivale	Hivernale	Estivale
Minimum	7	2	6	2	7	1
Maximum	60	17	79	20	68	15
Moyenne / campagne	21,2	7,3	20,3	7,5	22,4	7,5
Moyenne / 2 campagnes	15,0		14,4		15,1	
Taux d'exposition (%)	5,7	9,3	9,4	5,3	11,0	10,8
Valeur cible (directive européenne 2008/50/CE du Parlement Européen et du Conseil du 21 mai 2008) = 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne annuelle)						

On observe que les concentrations journalières évoluent d'un jour à l'autre et d'un point à l'autre de façon similaire la majeure partie du temps. Les niveaux moyens, pour chaque campagne, sont équivalents sur l'ensemble des points aux abords de la rocade. Ils varient de 20,3 à 22,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en

¹⁰ Percentile 98 : correspond à la valeur dépassée par 2% des concentrations horaires mesurées.

¹¹ Percentile 99.8 : correspond à la valeur dépassée par 0,2% des concentrations horaires mesurées.

hiver et de 7,3 à 7,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en été. De même, les niveaux minimum et maximum sont également équivalents sauf au point 38 où le niveau maximum est légèrement plus élevé en période hivernale et estivale.

En hiver, les concentrations maximales ont été enregistrées sur les trois points de mesures les 11, 12 et 13 mars 2010 (**figure 8**). En effet, durant cette période, les températures ont été froides à très froides et les vitesses de vent très faibles. Les conditions météorologiques étaient peu favorables à la dispersion des polluants. Parallèlement, les concentrations les plus faibles ont été mesurées pendant les épisodes pluvieux importants présents au début et à la fin de la période de mesures. On constate que ces journées étaient également marquées par les vitesses de vents les plus élevées. Exceptée la station 18, les stations ont été exposées conformément aux normales saisonnières hivernales observées entre 2000 et 2009.

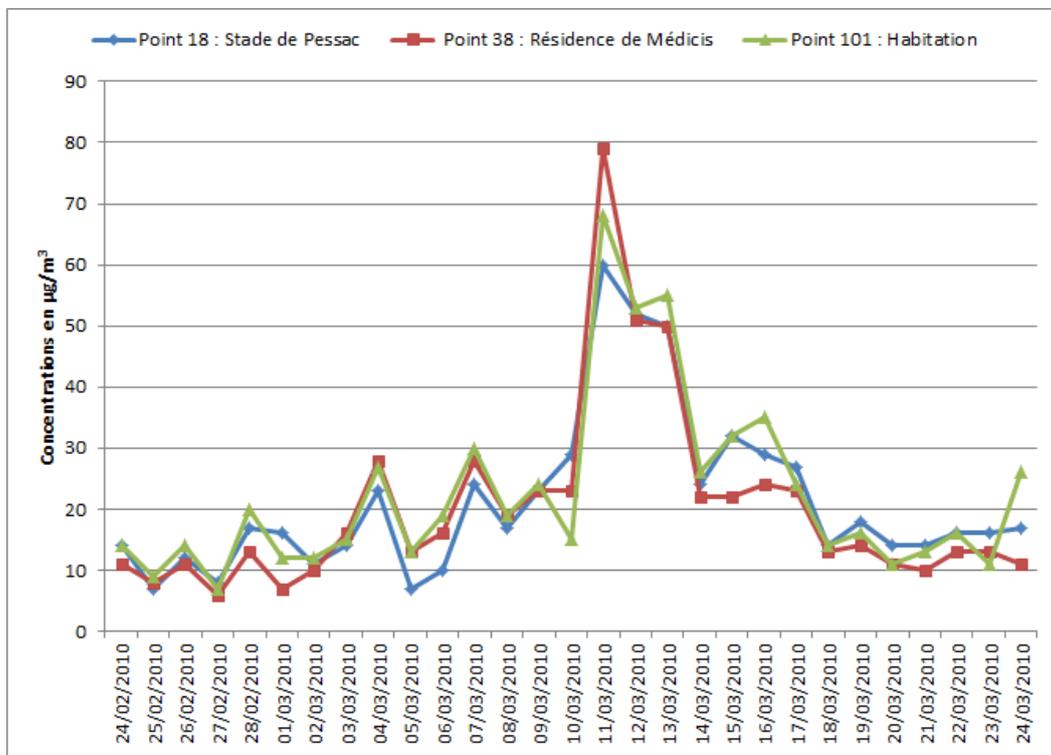


Figure 8 : Evolution des PM_{2,5} en moyenne journalière lors de la première campagne de mesures

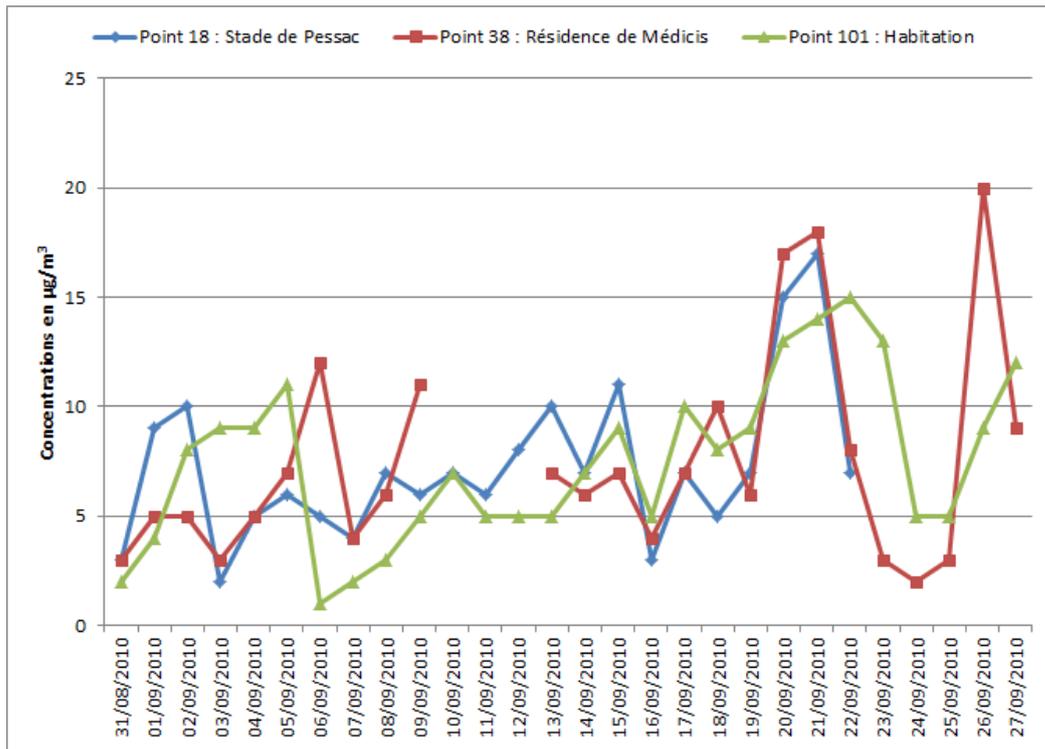


Figure 9 : Evolution des PM2,5 en moyenne journalière lors de la deuxième campagne de mesures

Les niveaux moyens mesurés en période hivernale sont 2,6 fois plus élevés qu'en période estivale et ce pour des taux d'exposition sous les vents de la rocade équivalents entre les périodes hivernales et estivales (**figure 9**). Durant la campagne estivale, les variations temporelles sont similaires d'un point de mesure à l'autre sur la quasi-totalité des journées pendant lesquelles les mesures ont été réalisées en simultanément aux trois points de mesure. On observe que les concentrations les plus élevées sont mesurées au point 38.

Les variations constatées sur les stations au cours du temps sont de faible ampleur la majeure partie du temps. On observe cependant quelques pics comme les journées des 20, 21 et 26 septembre marquées par les teneurs les plus élevées de cette série de mesure. Les conditions météorologiques étaient alors favorables à des concentrations élevées : vents faibles. On observe une diminution des concentrations lorsque les vitesses de vent sont élevées ou les précipitations importantes. C'est le cas pour les journées des 3 et 24 septembre avec respectivement 1 mm et 17 mm de cumul de précipitation et 6 m/s et 3 m/s de vitesse de vent en moyenne sur la journée. Sur cette période de mesures, les stations 38 et 101 ont moins été exposées au regard des normales saisonnières estivales observées entre 2000 et 2009.

Du point de vue de la réglementation, la valeur limite de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été respectée sur l'ensemble des points de mesures.

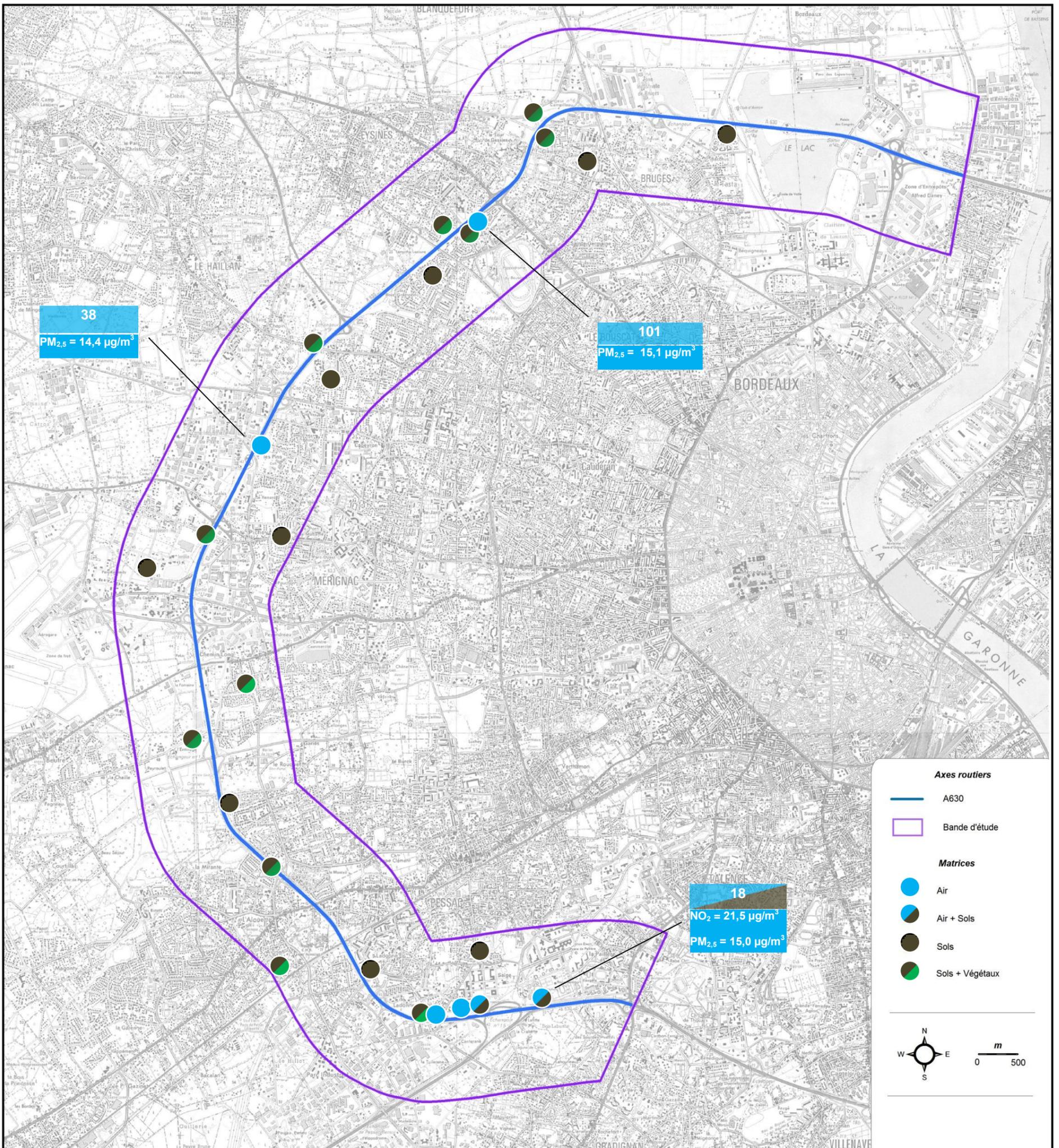


Figure 10 : Concentrations moyennes annuelles observées en PM_{2,5} et NO₂ mesurées par préleveurs automatiques sur les stations de prélèvements air

4.5.5. Résultats relatifs aux NO₂ par tube passifs

4.5.5.1. Validité des mesures

La validité et l'incertitude sur la mesure sont établies à partir des données :

- des blancs de terrain qui permettent d'évaluer la contamination éventuelle des supports lors de leur préparation en laboratoire ou lors de leur transport entre les sites et le laboratoire,
- des résultats des mesures doublées qui permettent d'évaluer la répétabilité de la mesure dans des conditions d'exposition identiques. La répétabilité permet d'estimer la qualité du mesurage et notamment la fidélité de la mesure des tubes à diffusion. On peut l'évaluer en calculant l'écart moyen relatif entre les mesures de chacun des doublons.

A noter que tous les capteurs de NO₂ ont été récupérés à la fin de chaque campagne de mesures (aucune perte n'a été subie).

Un blanc de terrain a été analysé pour chaque période d'exposition des tubes. Toutes les concentrations obtenues sont inférieures à la limite de quantification fixée à 1 µg/m³. Cette valeur a été déduite des résultats obtenus sur les tubes installés sur le domaine d'étude.

Deux points de mesure par période d'exposition de 14 jours ont été équipés de capteurs de NO₂ en doublon pour estimer la répétabilité de la mesure.

Le **tableau 7** ci-après indique pour chaque point l'écart entre les doublons mesurés sur chaque site.

Tableau 7 : Ecart relatif moyen en % mesuré entre les doublons

Points	Campagne hivernale		Campagne estivale	
	du 23/02 au 10/03	du 10/03 au 24/03	du 31/08 au 14/09	du 14/09 au 29/09
18	13,4	20,5	2,0	
93				8,9
95	5,1	25,3		11,6
104			10,0	

La répétabilité des mesures pour le dioxyde d'azote est considérée comme bonne lorsque l'écart moyen relatif entre les résultats des doublons est inférieur à 20 %. A l'exception des doublons des stations 18 et 95 lors de la campagne du 10 au 24 mars, la répétabilité observée est bonne. Pour ces points et périodes, les résultats utilisés seront la moyenne des 2 valeurs. Pour les deux autres cas (stations 18 et 95 pour la 2e période de mesures hivernales), les valeurs moyennes ne seront pas présentées et l'interprétation sera réalisée sur les concentrations maximales mesurées.

4.5.5.2. Interprétation des résultats

Le **tableau 8** ci-après présente les résultats des mesures de NO₂ par tube passif.

Tableau 8 : Concentrations en NO₂ par tube passif (µg/m³)

Point de mesure	Localisation	Concentrations en NO ₂ (µg/m ³)			
		23 février au 10 mars 2010	10 au 24 mars 2010	31 août au 14 septembre 2010	14 au 29 septembre 2010
18	7, avenue Aquitaine	29	31	49	54
	Stade de Pessac	38*	47*	51*	
	Moyenne (14 j exposition)	34	-	50	54
	Moyenne/campagne	-		52	
Moyenne des 2 campagnes		-			
93	Ecole Montesquieu allée des Mimosas	29	42	34	43
	Pessac				36*
	Moyenne (14 j exposition)	29	42	34	40
	Moyenne/campagne	36		37	
Moyenne des 2 campagnes		37			
95	41, Avenue du Pontet	47	47	45	48
	Pessac	52*	28*		38*
	Moyenne (14 j exposition)	50	-	45	43
	Moyenne/campagne	-		44	
Moyenne des 2 campagnes		-			
104	45, allée de la Forêt	44	41	36	50
	Pessac			44*	
	Moyenne (14 j exposition)	44	41	40	50
	Moyenne/campagne	43		45	
Moyenne des 2 campagnes		44			
Taux d'exposition (en %) des points de mesures ^(a)		7,7	3,3	13,0	5,1

* : doublons

^(a) : les points 18, 93, 95 et 104 sont exposés sous les vents de la rocade pour le même secteur de vent (160 °-200°).

Les concentrations mesurées évoluent peu entre les stations et entre les saisons. Les écarts sont souvent inférieurs à l'incertitude analytique. On constate toutefois que les concentrations les plus faibles ont été mesurées au point 93.

Sur l'ensemble des périodes (hiver et été), les teneurs aux points 18, 95 et 104 ont été supérieures à la valeur limite et à l'objectif de qualité de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La valeur moyenne annuelle mesurée au point 93 est inférieure à cette valeur repère.

A noter que durant ces campagnes de mesures, les stations ont été peu exposées aux vents si l'on considère les normales saisonnières. Seule la campagne qui s'est déroulée entre le 31 août et le 14 septembre présente un taux d'exposition supérieur.

4.5.6. Mesure du NO₂ en continu

Les mesures de NO₂ en continu ont été réalisées au point 18 (stade, 7 rue d'Aquitaine à Pessac). Les **figures 11** et **12** présentent l'évolution de la concentration en NO₂ lors des deux campagnes de mesures. A noter que la deuxième campagne de mesures s'est déroulée sur trois semaines seulement en raison d'un problème technique sur la station automatique.

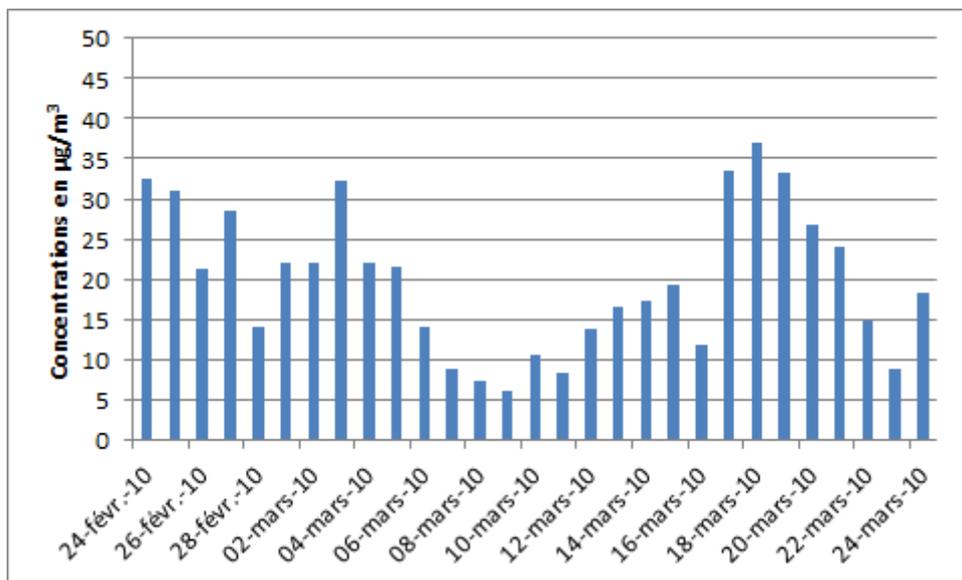


Figure 11 : Evolution de la concentration moyenne journalière en NO₂ lors de la campagne hivernale

Sur la période du 24 février au 25 mars 2010, la concentration moyenne mesurée est de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentration moyenne journalière la plus élevée a été relevée le 18 mars. Elle était égale à $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations les plus basses ont été enregistrées sur la période du 7 au 11 mars 2010, période de chute des températures. Comme pour les PM_{2,5}, la station 18 a peu été exposée aux vents si l'on considère les normales saisonnières.

Lors de la deuxième période de mesures, du 5 au 28 septembre 2010, la concentration moyenne mesurée a été de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations les plus basses ont été enregistrées les 12 et 25 septembre. Des concentrations moyennes journalières, supérieures à la valeur limite et aux teneurs observées en hiver ont été recensées les 20 et 22 septembre. Sur cette période, la station 18 a été plus exposée aux vents si l'on considère les normales saisonnières.

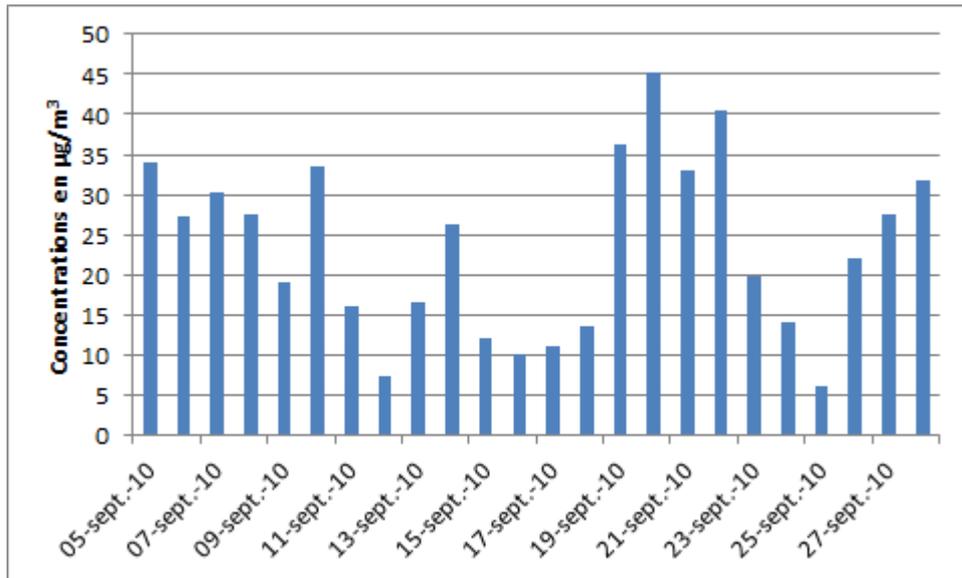


Figure 12 : Evolution de la concentration moyenne journalière en NO₂ lors de la campagne estivale

Les roses de pollution sont présentées sur la **figure 13** ci-après. Dans les deux cas, elles ne permettent pas de cerner l'impact potentiel de la rocade qui constitue la source principale dans ce secteur. Les concentrations les plus élevées ont été observées lorsque les vents provenaient du nord ou du sud-est. Par conséquent, le tissu urbain à proximité semble émettre du NO₂ en quantité suffisante pour masquer l'impact de la rocade.

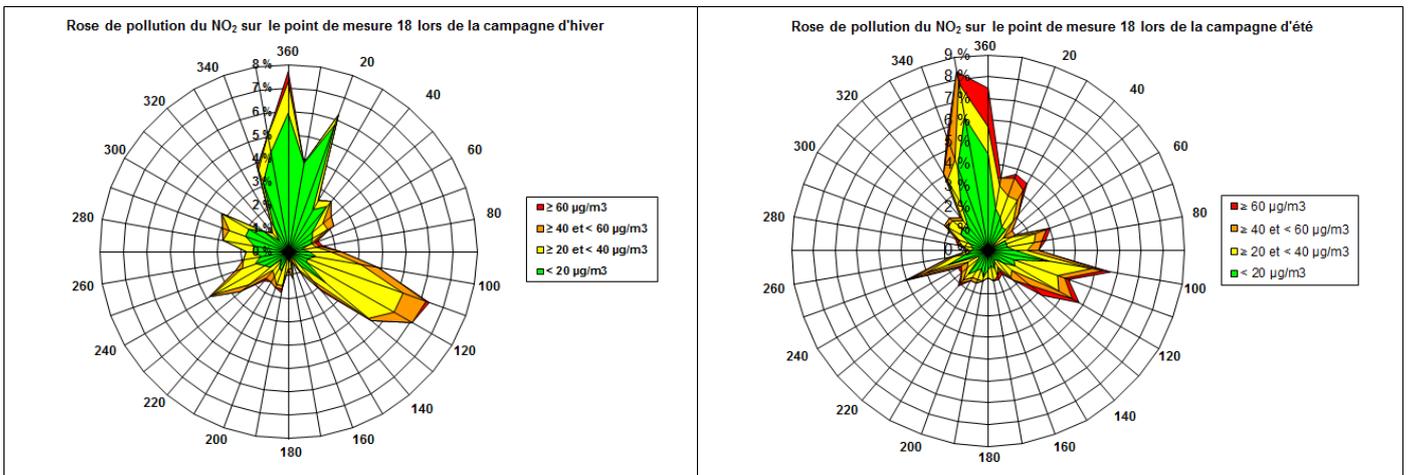


Figure 13 : Roses de pollution du NO₂ (saison froide et saison chaude)

Le **tableau 9** ci-après présente les concentrations mesurées permettant la comparaison avec les valeurs de référence. Elles ont été calculées à partir des données horaires

Tableau 9 : Concentrations en NO₂ en continu (µg/m³)

	Concentration de NO ₂ (µg/m ³)		Valeurs de référence (µg/m ³)
	Campagne 1 (hiver)	Campagne 2 (été)	
Taux exposition	5,7	9,3	
Moyenne*	20	23	40
percentile 98*	52	73	200
percentile 99,8*	64	95	200

*Calculé à partir des moyennes horaires

La concentration moyenne en NO₂ mesurée sur la globalité de la période été/hiver est inférieure à la valeur limite et à l'objectif qualité en moyenne annuelle. Il en est de même pour le percentile 98 et le percentile 99,8.

4.5.7. Comparaison mesures par tubes passifs/mesures en continu

La comparaison des résultats s'effectue sur la station 18 (stade) où le NO₂ a été mesuré de façon continue par une station automatique et par tubes passifs. Les résultats de la comparaison sont présentés dans le **tableau 10**.

Tableau 10 : Comparaison entre les résultats des mesures de NO₂ par tubes passifs et celle en continu

Période de mesure	Concentrations en NO ₂ (µg/m ³)		Ecart en %
	Tube passif	Continu	
23/02 au 10/03/2010	34	18	89
10 au 24/03/2010	-	22	-
31/08 au 14/09/2010	50	23*	117
14 au 29/09/2010	54	23	135

*la mesure en continu a débuté le 05/09 au lieu du 31/08 ; les concentrations ne sont pas mesurées sur des périodes comparables, - valeur non représentative

Les concentrations en NO₂ mesurées par tubes passifs sont systématiquement plus élevées que les mesures en continu. L'analyse comparative des mesures de dioxyde d'azote obtenues par le dispositif temporaire (tubes passifs) avec les valeurs moyennes sur la même période de 14 jours relevées sur le capteur de la station fixe permet d'apprécier la représentativité des mesures de la campagne. Les écarts relatifs entre les mesures par tubes passifs et les mesures aux stations sont relativement importants.

4.6. Mesures de la qualité des végétaux

4.6.1. Outils d'interprétation

Pour interpréter les résultats, plusieurs critères sont employés :

- les résultats sont d'abord comparés entre eux ; les résultats observés sur les stations de proximité automobile sont notamment comparés aux valeurs observées sur les stations représentatives du bruit de fond local ;
- pour le cadmium (Cd), le règlement européen 1881/2006 fixe des teneurs maximales ;
- pour le mercure (Hg), le Conseil supérieur d'hygiène publique de France a proposé une valeur limite en mercure total dans les légumes ;
- pour l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le mercure (Hg), il est fait appel à des données bibliographiques issues d'un rapport d'étude de l'INRA¹² paru en mai 2004 sur l'alimentation totale des Français (EAT). Il donne une concentration moyenne en arsenic dans les légumes « tels que consommés » (hors pomme de terre).

4.6.2. Teneur en eau des échantillons

L'analyse des ETM est réalisée sur des matrices séchées et le résultat est souvent exprimé en matière sèche (désignée « MS » dans la suite du document). La réglementation relative aux denrées alimentaires est exprimée par unité de matière fraîche (désignée « MF » dans la suite du document). Il faut donc convertir les résultats obtenus. Cela nécessite la détermination de la teneur en eau des

¹²

INRA, mai 2004, Etude de l'alimentation totale française, Mycotoxines, minéraux et éléments traces.

échantillons avant analyse. Les teneurs en eaux sont présentées dans les bordereaux d'analyses présentés en **annexe A-6**.

4.6.3. Concentrations en ETM

Le **tableau 11** présente les teneurs observées dans les légumes échantillonnés. Toutes les données sont exprimées en mg/kg de MF afin de pouvoir être comparées, le cas échéant, à la réglementation en vigueur (règlement 1881/2006/CE). Les **figures 14 à 19** présentent les résultats obtenus dans les légumes pour chaque élément métallique.

Pour chaque ETM, des histogrammes présentent les résultats de la campagne afin d'en faire leur interprétation. La comparaison des résultats s'effectue ci-après à l'aide d'histogrammes sur lesquels la barre d'erreur liée à l'incertitude de l'analyse (20 %) est visualisée. Les valeurs inférieures aux limites de quantification sont considérées comme égales à ces limites de quantification.

a) L'arsenic

Les résultats sont présentés sur les **figures 14 et 15**.

L'analyse des résultats relatifs à l'arsenic est complexe du fait de l'absence de valeur réglementaire. Toutefois, l'analyse comparative entre les stations et l'utilisation de la valeur de l'EAT permettent de mettre en évidence certains points particuliers, notamment les points 95, 152 et 118 en fonction des résultats observés sur les quatre matrices biologiques (salades, tomates, poireaux, radis).

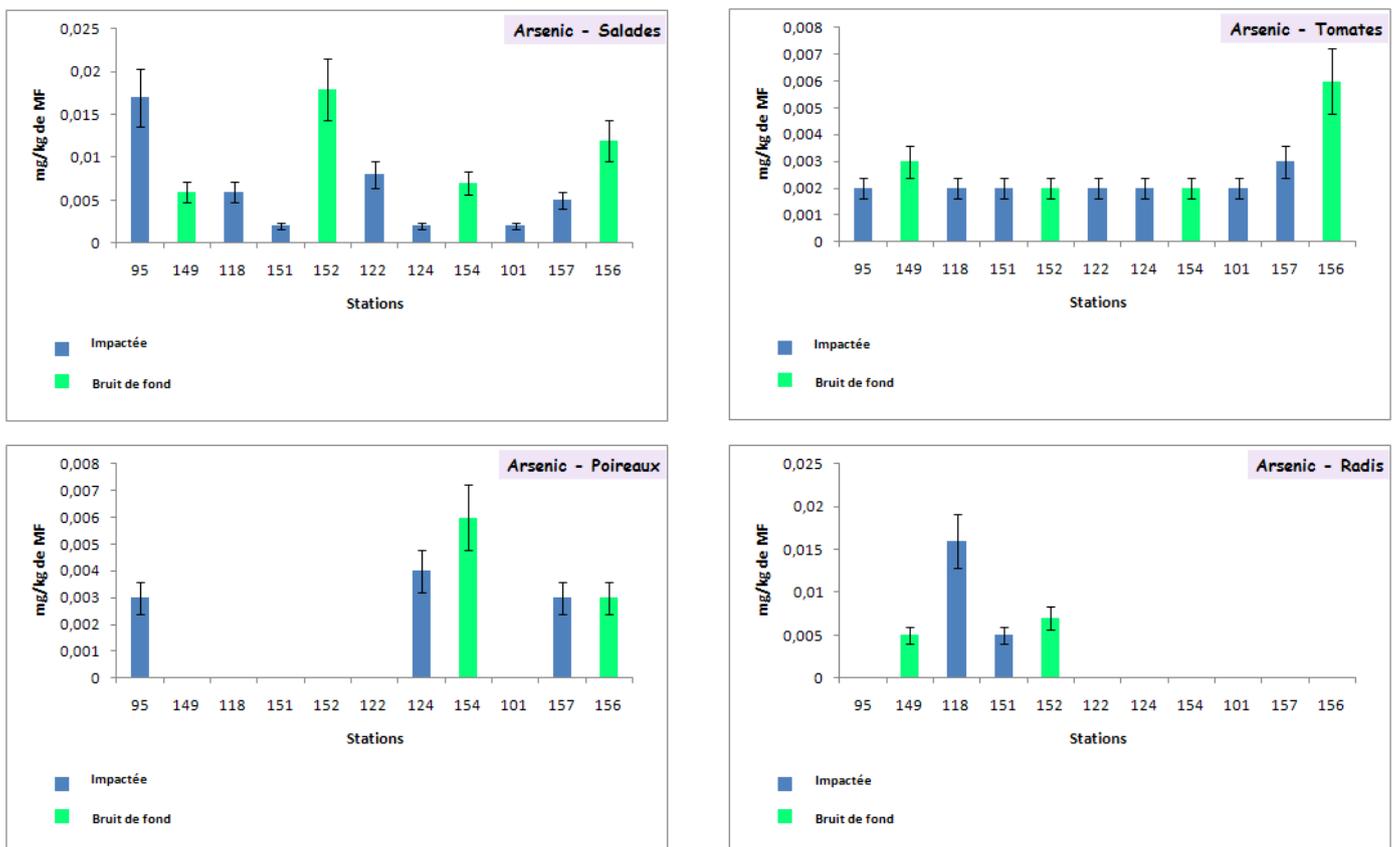


Figure 14 : Concentrations en **arsenic (As)** relevées dans les différents légumes prélevés dans la bande d'étude

Tableau 11 : Concentrations en métaux (mg/kg de matière fraîche) dans les légumes prélevés dans la bande d'étude

Station	Nature du point d'exposition	Typologie	Salades				Tomates				Poireaux				Radis			
			As	Ba	Cd	Hg	As	Ba	Cd	Hg	As	Ba	Cd	Hg	As	Ba	Cd	Hg
95	Jardins potagers	Proximité routière	0,017	0,711	0,013	<0,002	<0,002	0,049	0,009	<0,002	0,003	0,272	0,007	<0,002				
149	Jardins potagers	Bruit de fond	0,006	0,672	0,008	<0,002	<0,003	0,064	<0,013	<0,003					0,005	0,695	0,004	<0,002
118	Jardins potagers	Proximité routière	0,006	0,351	0,040	<0,002	<0,002	<0,022	0,007	<0,002					0,016	0,359	0,006	<0,002
151	Jardins potagers	Proximité routière	<0,002	0,781	0,049	<0,002	<0,002	0,109	0,020	<0,002					0,005	1,100	0,007	<0,002
152	Jardins potagers	Bruit de fond	0,018	4,11	0,241	<0,004	<0,002	<0,024	0,007	<0,002					0,007	0,963	0,005	<0,001
122	Jardins potagers	Proximité routière	0,008	0,67	0,009	<0,002	<0,002	0,04	0,002	<0,002								
124	Jardins potagers	Proximité routière	<0,002	0,092	0,004	<0,002	<0,002	0,059	0,006	<0,002	0,004	0,452	0,005	<0,003				
154	Jardins potagers	Bruit de fond	0,007	0,392	0,033	<0,002	<0,002	0,047	0,006	<0,002	0,006	0,385	0,010	<0,004				
101	Jardins potagers	Proximité routière	<0,002	0,248	0,010	<0,002	<0,002	0,058	0,004	<0,002								
157	Jardins potagers	Proximité routière	0,005	0,258	0,018	<0,001	<0,003	0,037	0,004	<0,003	0,003	0,51	0,010	<0,003				
156	Jardins potagers	Bruit de fond	0,012	0,289	0,022	<0,002	0,006	0,046	0,016	<0,002	0,003	0,085	0,004	<0,002				
Teneurs maximales (a), (b)					0,20	0,03			0,05	0,03			0,10	0,03			0,10	0,03
EAT INRA			0,012		0,010	0,006	0,012		0,010	0,006	0,012		0,010	0,006	0,012		0,010	0,006

(a) Selon le règlement 1881/2006 de la Commission du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires.

(b) Le conseil supérieur d'hygiène publique de France recommande une teneur maximale en mercure à **0,03 mg/kg** de matière fraîche équivalent à 0,15 mg/kg de matière sèche dans les aliments et les boissons.

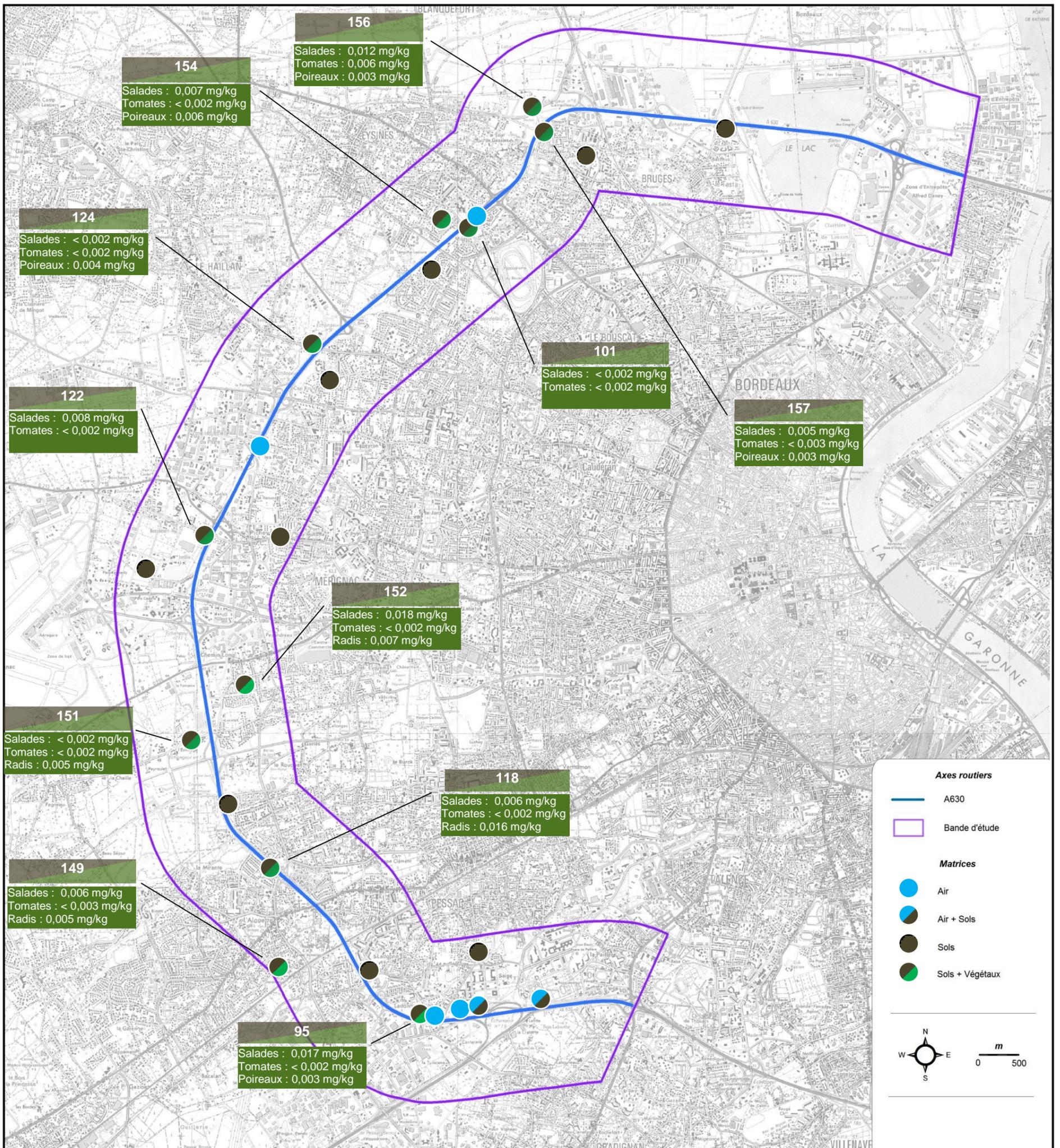


Figure 15 : Concentrations en arsenic (As) mesurées dans les légumes (en mg/kg de MF).

Les concentrations en arsenic dans les **salades** sont souvent inférieures à 0,01 mg/kg de MS. La concentration moyenne relevée sur le domaine d'étude est de 0,008 mg/kg de MF. Elle est de 0,006 mg/kg de MF sur les stations de proximité routière et de 0,011 mg/kg sur les stations représentatives du bruit de fond local. Deux stations présentent des concentrations significativement différentes et supérieures à la valeur citée dans l'EAT. Il s'agit des stations 95 et 152 qui présentent des teneurs respectives de 0,017 et 0,018 mg/kg de MS. La concentration la plus élevée est mesurée sur la station 152.

A l'exception de la concentration mesurée sur la station 156, l'ensemble des valeurs mesurées sur les **tomates** sont inférieures à la limite de quantification.

Toutes les concentrations sont conformes aux concentrations habituellement relevées sur ce type de matrice et ne traduisent pas d'impact du trafic routier de la rocade ouest sur les stations échantillonnées.

L'étude a été complétée par l'analyse d'arsenic sur des **poireaux** ou des **radis** sur les stations intégrées dans le réseau de surveillance. Dans le cas des légumes-tiges (poireaux), les concentrations oscillent entre 0,003 et 0,006, révélant ainsi des teneurs homogènes sur les stations et ce quelle que soit la typologie de la station. Toutes les concentrations sont conformes aux teneurs ubiquitaires. Dans le cas des légumes-racines (radis), la gamme des valeurs est plus étendue et met en évidence une valeur significativement plus élevée sur la station 118, valeur supérieure à la valeur observée lors de l'étude de l'INRA.

b) Le baryum

Les résultats sont présentés sur les **figures 16 et 17**.

L'analyse des résultats est difficile du fait de l'absence de valeurs de référence et de valeurs bibliographiques. Toutefois, l'analyse comparative entre les stations permet de mettre en évidence certains points particuliers, notamment les points 151 et 152 en fonction des résultats observés sur les quatre matrices biologiques.

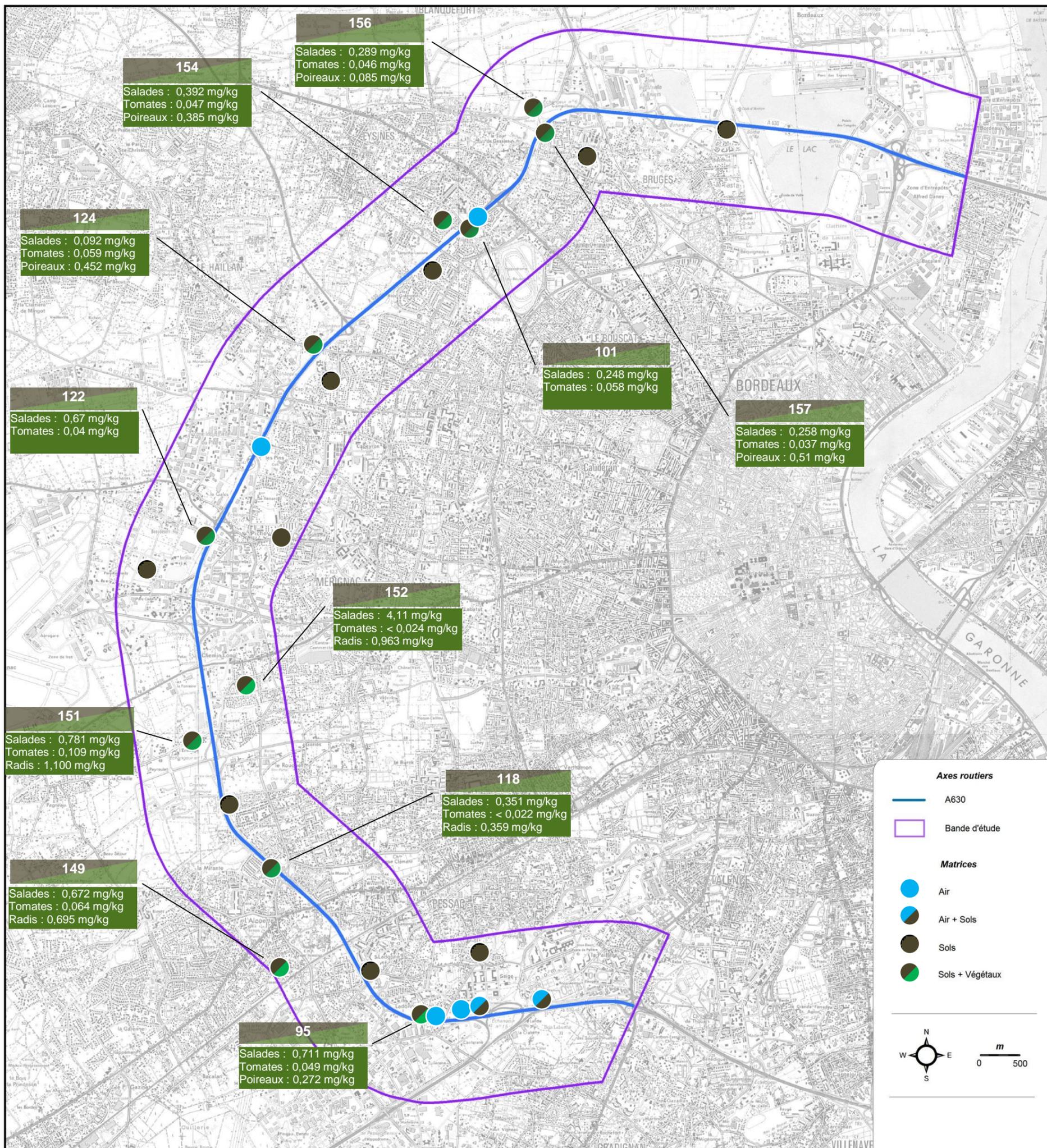


Figure 17 : Concentrations en baryum (Ba) mesurées dans les légumes (en mg/kg de MF).

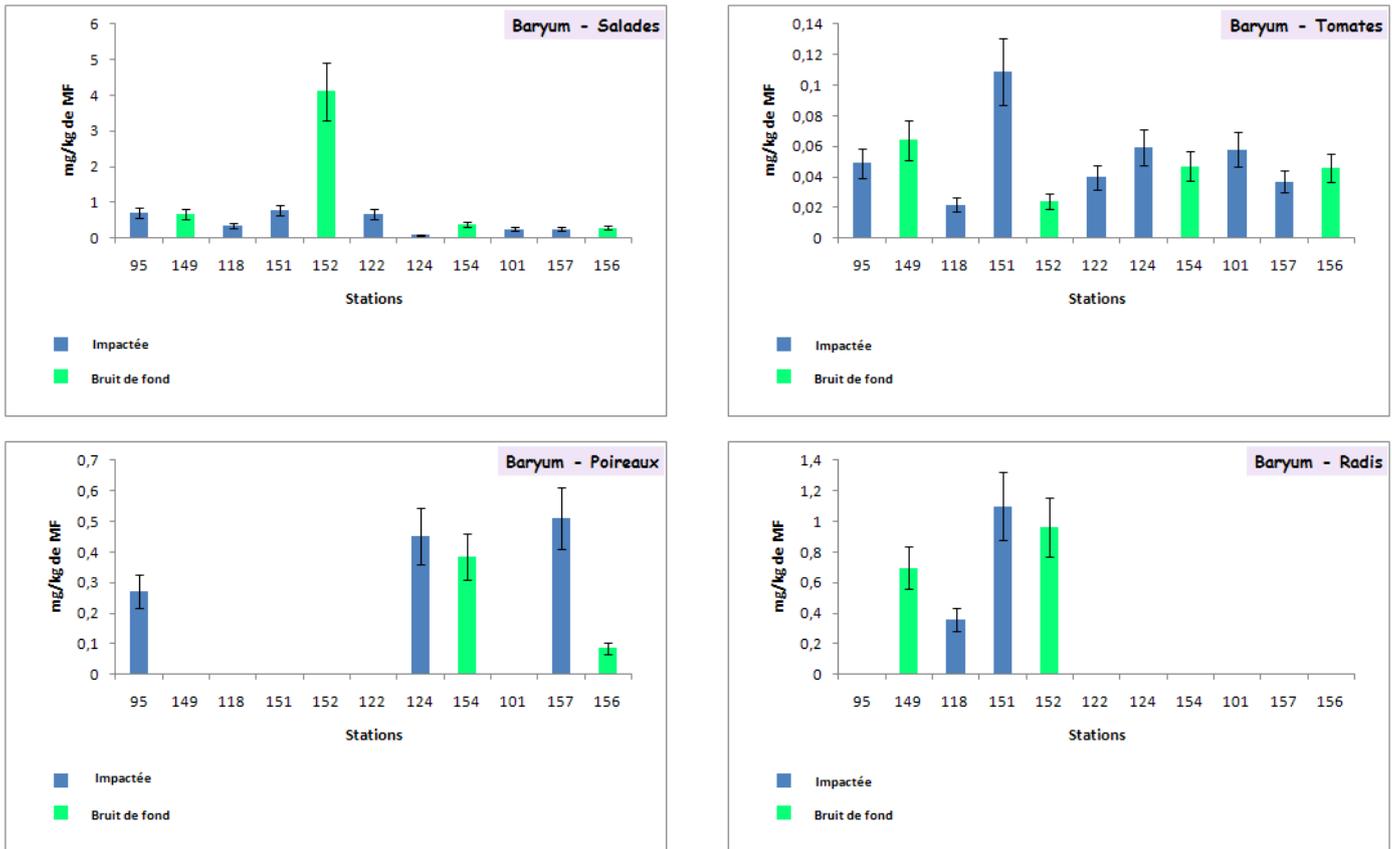


Figure 16 : Concentrations en **baryum (Ba)** relevées dans les différents légumes prélevés dans la bande d'étude

Les concentrations en baryum dans les **salades** sont très hétérogènes, variant de 0,092 à 4,110 mg/kg de MF. Une valeur nettement plus élevée est observée sur la station 152, station pourtant choisie pour être représentative du bruit de fond local et qui ne présente aucun caractère particulier dans les pratiques culturales mises en place par le jardinier.

D'autres résultats permettent également de constater des teneurs élevées, à un niveau toutefois moindre. Il s'agit des stations 95, 149, 151 et 122 sur lesquelles les concentrations sont de l'ordre de 0,7 mg/kg de MF. Les niveaux les plus faibles sont constatés sur les stations situées au nord du domaine d'étude. Aucun lien n'a pu être établi entre la typologie de la station, la concentration en baryum et la présence de la rocade à proximité des potagers retenus.

Dans les **tomates**, les concentrations en baryum mesurées sont plus faibles et plus homogènes. Les teneurs varient de 0,022 à 0,109 mg/kg de MF. La concentration moyenne est de 0,05 mg/kg de MF. Exceptée la station 151, les stations qui présentaient les valeurs les plus élevées dans les salades ne sont plus mises en avant, et notamment la station 152. Cette dernière présente même une concentration inférieure à la limite de quantification. Comme pour les salades, aucun lien n'a pu être établi entre la typologie de la station, la concentration en baryum et la présence de la rocade à proximité des potagers retenus. La concentration moyenne relevée sur les stations dites de proximité routière est de 0,053 mg/kg de MF et de 0,045 sur les stations caractéristiques du bruit de fond local.

L'analyse du baryum dans les **poireaux** et les **radis** n'a pas davantage permis de faire le lien entre les concentrations les plus faibles et les stations représentatives du bruit de fond local. Certaines concentrations relevées sur ces stations sont équivalentes à celles mesurées sur des stations proches de la rocade. C'est notamment le cas sur les stations 154 et 152 avec l'analyse respective des

poireaux et des radis. La concentration moyenne observée dans les poireaux est de 0,341 mg/kg de MF et de 0,779 mg/kg de MF dans les radis.

c) Le cadmium

Les résultats sont présentés sur les **figures 18** et **19**. Contrairement à l'arsenic et au baryum, on dispose d'un référentiel pour le cadmium. En effet, le règlement européen 1881/2006 fixe des teneurs maximales pour certaines catégories de légumes.

Les concentrations observées dans les **salades** sont assez hétérogènes. Elles varient de 0,004 mg/kg de MF à 0,24 mg/kg de MS. Les stations peuvent à une exception près être classées en deux catégories :

- celles qui présentent les teneurs les plus faibles, inférieures ou égales à la valeur de 0,01 mg/kg de MF, valeur conforme à celle présentée dans l'EAT de l'INRA ; il s'agit des stations 149, 122, 124 et 101 ;
- celles qui présentent des teneurs intermédiaires, supérieures à celles observées dans l'étude sur l'alimentation des français mais bien inférieures à la valeur réglementaire fixée à 0,2 mg/kg de MF ; cette catégorie regroupe les stations 95, 118, 151, 154, 157 et 156 ; une station qui présente une concentration supérieure à la teneur maximale admissible dans les légumes, la station 152.

Une valeur nettement plus élevée est observée sur la station 152, station pourtant choisie pour être représentative du bruit de fond local et qui semble ne présenter aucun caractère particulier dans les pratiques culturales mises en place par le jardinier. L'ensemble des résultats observés sur les salades ne montre pas de lien entre la typologie de la station et les concentrations observées

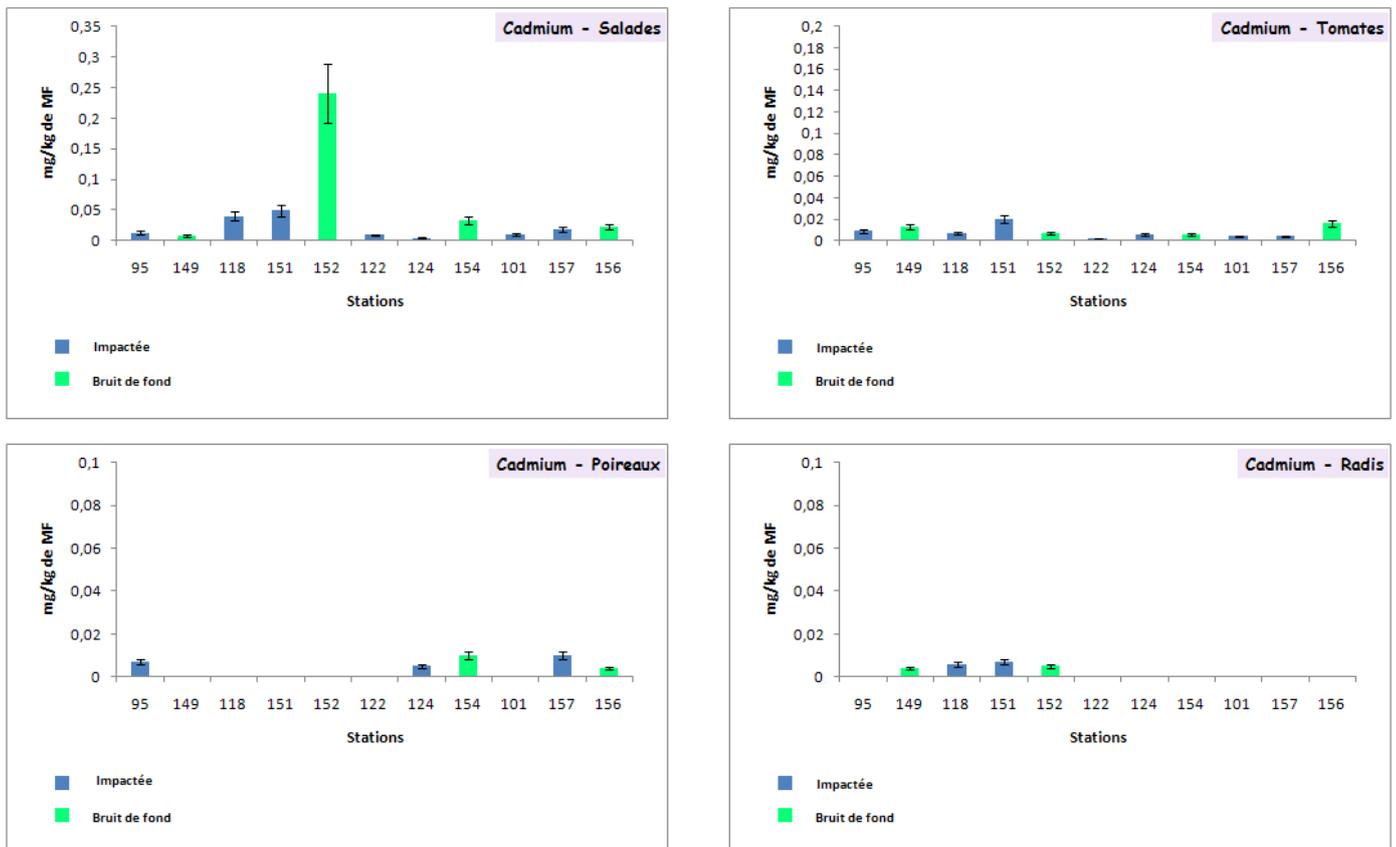


Figure 18 : Concentrations en cadmium (Cd) relevées dans les différents légumes prélevés dans la bande d'étude

Dans les **tomates**, les concentrations en cadmium mesurées sont plus faibles et plus homogènes. Les teneurs varient de 0,002 à 0,020 mg/kg de MF. La concentration moyenne est de 0,009 mg/kg de MF. Les concentrations les plus élevées sont recensées sur les stations 151 et 156. A l'exception de ces deux stations, toutes les valeurs sont inférieures aux valeurs mesurées sur les légumes « tels que consommés ». L'ensemble des valeurs est inférieure à la teneur maximale fixée par le règlement européen 1881/2006. A noter que le dépassement constaté sur la station 152 sur les salades n'est pas constaté ici. Comme pour les salades, aucun lien ne peut être établi entre la typologie de la station, la concentration en cadmium et la présence de la rocade à proximité des potagers retenus. La concentration moyenne relevée sur les stations dites de proximité routière est de 0,007 mg/kg de MF et de 0,011 sur les stations caractéristiques du bruit de fond local.

L'analyse du cadmium dans les **poireaux** et les **radis** présente des teneurs faibles, inférieures ou égales à la concentration mesurée dans les légumes « tels que consommés ». Aucun gradient n'est observé entre les stations.

d) Le mercure

Toutes les concentrations en mercure observées dans les différentes matrices biologiques sont inférieures aux limites de quantification. Aucun gradient de concentrations n'est observé entre les stations. Aucun impact n'est constaté sur l'ensemble des stations. Les valeurs sont très nettement inférieures à la teneur maximale recommandée par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France fixée à 0,03 mg/kg de MS et sont inférieures à la concentration observée dans l'EAT.

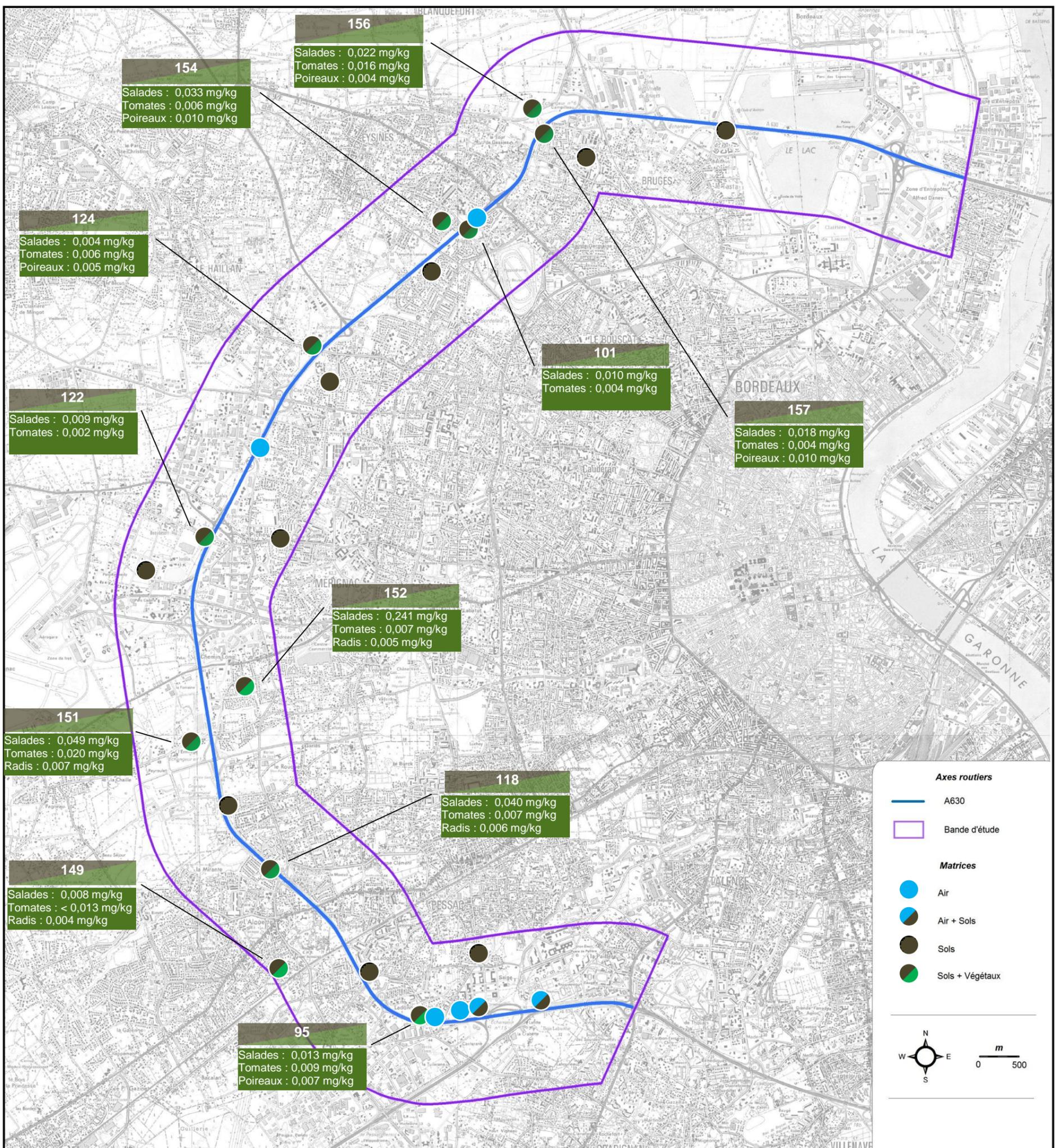


Figure 19 : Concentrations en cadmium (Cd) mesurées dans les légumes (en mg/kg de MF)

4.6.4. Indice global de la qualité des végétaux

Dans ce chapitre, une hiérarchisation des stations entre elles est proposée par un indice global d'imprégnation métallique des légumes. Cet indice est construit de la manière suivante :

- l'indice ne concerne que les matrices prélevées sur l'ensemble des stations, à savoir les salades et les tomates ;
- toutes les concentrations en mercure observées dans les différentes matrices biologiques étant inférieures aux limites de quantification, cet élément n'est pas considéré dans le calcul de l'indice ;
- pour chaque élément et chaque matrice, les stations sont classées en fonction de la concentration mesurée par ordre décroissant ; une note n est attribuée à chaque station, n représentant la position de la station dans le classement établi par élément ; ainsi, la station qui présente la concentration la plus élevée obtient la note la plus faible de 1 ;
- lorsque les concentrations sont inférieures à la limite de quantification, elles sont classées *ex aequo* ;
- l'indice global de la qualité des végétaux est obtenu en sommant les notes attribuées pour chaque élément mesuré sur la station ; l'indice global le plus faible est donc attribué à la station qui présente globalement les critères de qualité les plus défavorables.

L'indice global présenté n'est que qualitatif. Il ne prend pas en compte les écarts observés entre les concentrations et considère que chaque élément a le même facteur de pondération sur l'indice global. Il ne donne également aucune appréciation quantitative des risques sanitaires. Il permet uniquement de hiérarchiser les stations en fonction des concentrations observées

Le classement est proposé dans le **tableau 12** ci-après. Il met en avant, comme précédemment, les stations 151, 152, 95 et 156.

Tableau 12 : Hiérarchisation des stations en fonction du critère global de la qualité des végétaux

Numéro station	Classement pour l'As dans les salades	Classement pour le Ba dans les salades	Classement pour le Cd dans les salades	Classement pour l'As dans les tomates	Classement pour le Ba dans les tomates	Classement pour le Cd dans les tomates	Indice global
151	9	2	2	2	1	1	17
152	1	1	1	2	10	5	20
95	2	3	7	2	5	3	22
156	3	8	5	2	7	2	27
154	5	6	4	2	6	7	30
149	6	4	10	2	2	11	35
118	7	7	3	4	10	4	35
122	4	5	9	2	8	10	38
101	9	10	8	2	4	8	41
124	9	11	11	2	3	6	42
157	8	9	6	2	9	9	43

4.7. Qualité des sols

4.7.1. Outils d'interprétation

La définition de seuils dans le cas spécifique des métaux est complexe car il est difficile de s'affranchir de la variabilité inhérente au fond géochimique. Il n'existe pas de valeurs réglementaires en France concernant les concentrations en métaux dans les sols.

Les résultats de l'état des sols identifié par les campagnes de mesures seront d'abord comparés aux valeurs observées sur les stations de fond, considérées comme représentatives du fond géochimique local.

Les concentrations seront ensuite comparées à des données bibliographiques :

- dans un premier temps, il sera fait appel au programme INRA-ASPITET¹³ qui permet d'établir des concentrations « ordinaires » en éléments traces métalliques dans 815 horizons différents de sols français ; sur la base de ces données, l'INRA a défini des classes de concentrations et a proposé des seuils d'investigation qui peuvent définir une contamination métallique d'origine anthropique ; deux critères statistiques de ces bases sont employés :
 - ✓ la médiane des concentrations qui rend compte de la teneur à laquelle on peut s'attendre en l'absence de contamination du milieu,
 - ✓ le percentile 90 (valeur forte) au-delà duquel les teneurs observées ne seraient pas liées à une simple fluctuation naturelle mais pourraient être aussi imputables à un apport anthropique ;
- dans un deuxième temps, il sera fait appel aux données réglementaires issues de l'arrêté du 8 janvier 1998¹⁴ fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles.

4.7.2. Concentrations en ETM

Le **tableau 13** ci-après présente les teneurs observées dans les sols échantillonnés. Toutes les données sont exprimées en mg/kg de matière sèche (MS). Les résultats sont présentés sur la **figure 20** et en **annexe A-6**.

Pour chaque ETM, des histogrammes présentent les résultats de la campagne afin d'en dresser l'interprétation. La comparaison des résultats s'effectue ci-après à l'aide d'histogrammes sur lesquels une barre d'erreur liée à l'incertitude de l'analyse (20 %) est figurée. Les valeurs inférieures aux limites de quantification sont considérées comme égales à ces limites. Pour chaque élément, deux figures sont présentées :

- la première met en évidence les concentrations observées en fonction de la typologie de la station (station impactée ou station représentative du bruit de fond local),
- la deuxième met en évidence les concentrations mesurées en fonction de la nature du sol prélevé (sol remanié ou sol non remanié).

¹³ BAIZE D., - Teneurs totales en "métaux lourds" dans les sols français. Résultats généraux du programme ASPITET. Le Courrier de l'Environnement de l'INRA.

¹⁴ Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées.

Tableau 13 : Concentrations en métaux (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude

Station	Nature du point d'exposition	Typologie	Concentrations en métaux (mg/kg de MS)			
			As	Ba	Cd	Hg ^(a)
95	Jardins potagers	Proximité routière	10,1	38,3	<0,2	<0,2
93	Ecole	Proximité routière	4,5	30,0	<0,2	<0,2
18	Stade	Proximité routière	5,1	63,8	0,32	<0,2
160	Ecole	Proximité routière	5,9	37,1	<0,2	<0,2
19	Ecole	Bruit de fond	7,0	34,0	0,25	<0,2
149	Jardins potagers	Bruit de fond	6,9	157,6	0,40	<0,2
118	Jardins potagers	Proximité routière	6,8	200,5	0,38	<0,2
158	Ecole	Proximité routière	5,2	34,6	0,39	<0,2
151	Jardins potagers	Proximité routière	5,2	107,1	0,74	<0,2
152	Jardins potagers	Bruit de fond	5,6	48,6	0,24	<0,2
43	Stade	Bruit de fond	4,0	30,9	<0,2	<0,2
122	Jardins potagers	Proximité routière	5,6	115,9	0,22	<0,2
45	Ecole	Proximité routière	6,6	47,8	<0,2	<0,2
124	Jardins potagers	Proximité routière	9,0	136,1	0,46	0,251
161	Ecole	Bruit de fond	3,5	18,9	<0,2	<0,2
73	Ecole	Proximité routière	6,7	30,9	<0,2	<0,2
154	Jardins potagers	Bruit de fond	6,1	60,0	0,40	<0,2
101	Jardins potagers	Proximité routière	6,1	89,0	0,30	<0,2
130 ^(b)	Petite enfance	Bruit de fond	23,2	135,0	1,40	0,402
84	Stade	Proximité routière	18,7	74,9	0,51	<0,2
157	Jardins potagers	Proximité routière	7,8	155,4	1,0	<0,2
156	Jardins potagers	Bruit de fond	9,9	73,0	0,48	<0,2

INRA-ASPITET

Valeurs « ordinaires »

1 à 25

0,05 à 0,45

0,02 à 0,10

Concentration médiane

0,19

Valeur forte (Percentile 90)

1,05

Arrêté du 08/01/98

2

1

^a : La limite de quantification est supérieure aux données présentées dans le programme INRA-ASPITET car la méthode analytique utilisée dans cette étude est différente.

^b : Le prélèvement de sol a été réalisé aux abords de la crèche.

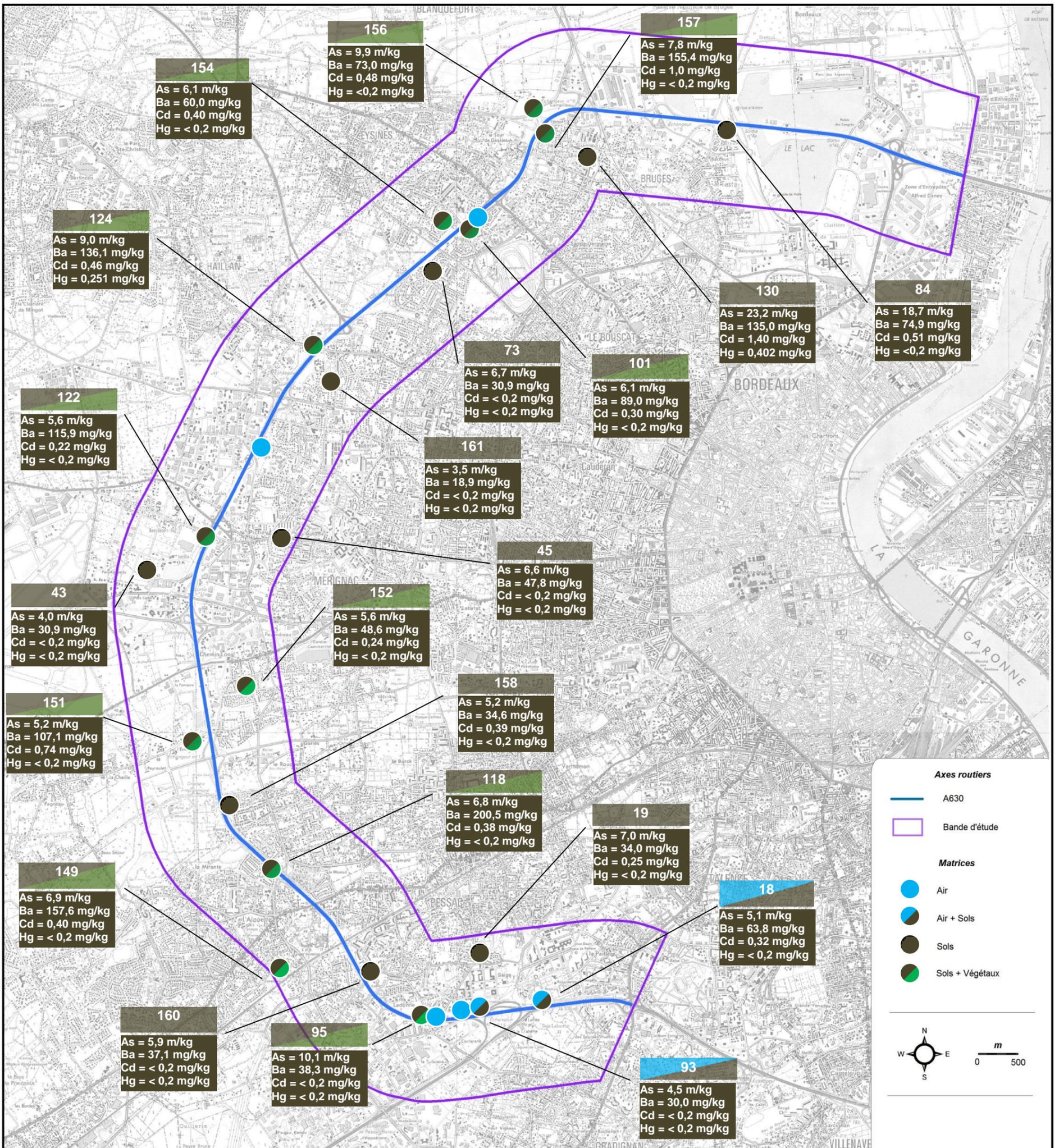
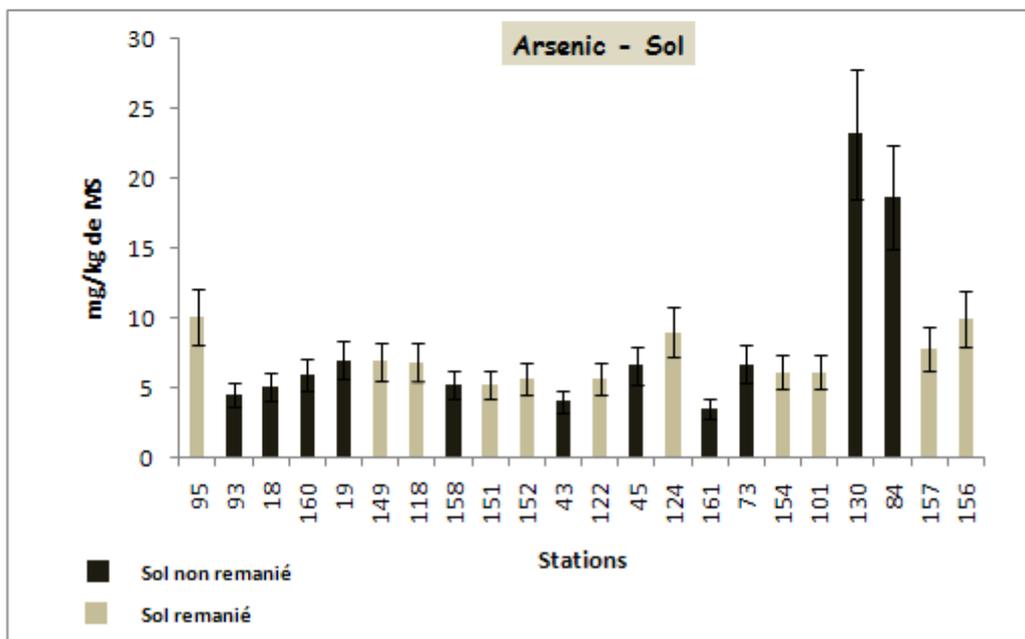
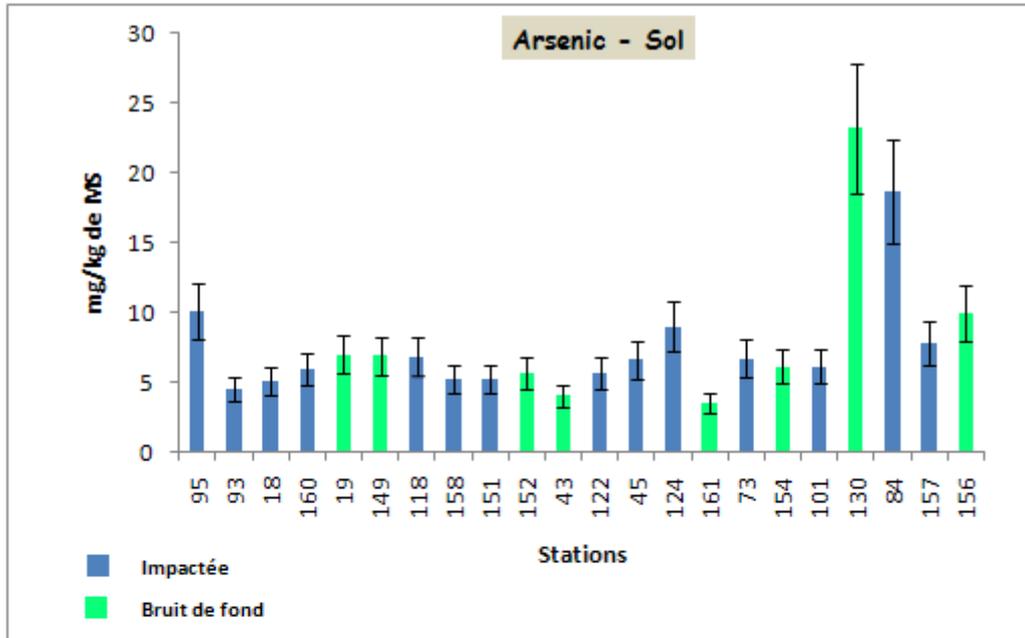


Figure 20 : Concentrations en métaux mesurées sur les sols (en mg/kg de MS)

a) L'arsenic

Les teneurs en arsenic rencontrées sur les stations oscillent entre 3,5 et 23,2 mg/kg de MS. Toutes les concentrations peuvent s'apparenter à des concentrations habituellement retrouvées dans les sols en France. Toutefois, si les résultats restent dans l'ensemble homogènes, autour de 7 mg/kg de MS, on observe des teneurs plus importantes sur les stations 130 et 84, stations représentatives de sols non remaniés prélevés respectivement au droit d'une crèche et d'un stade.



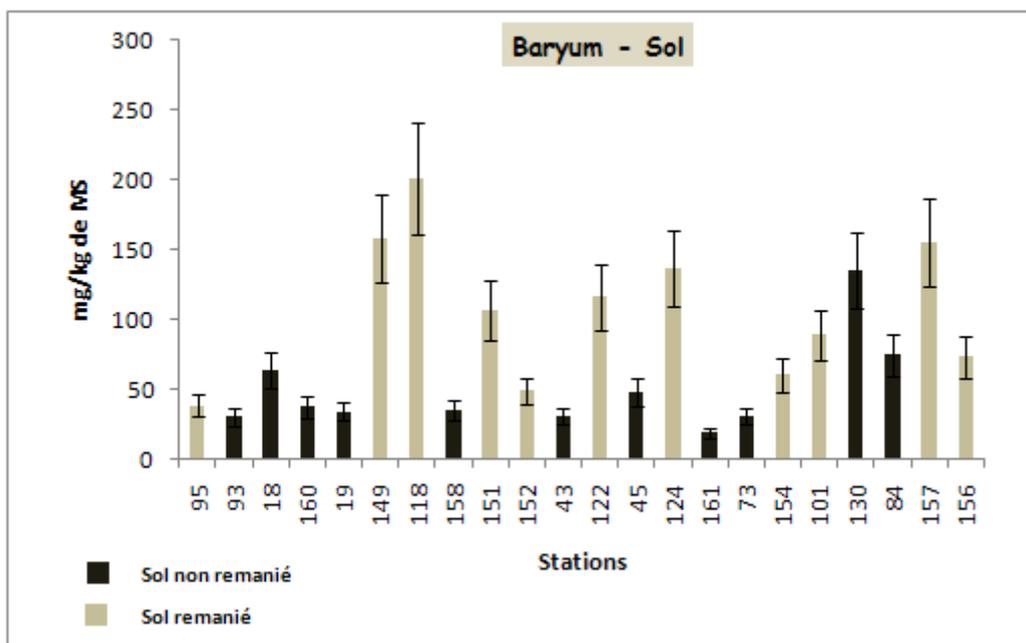
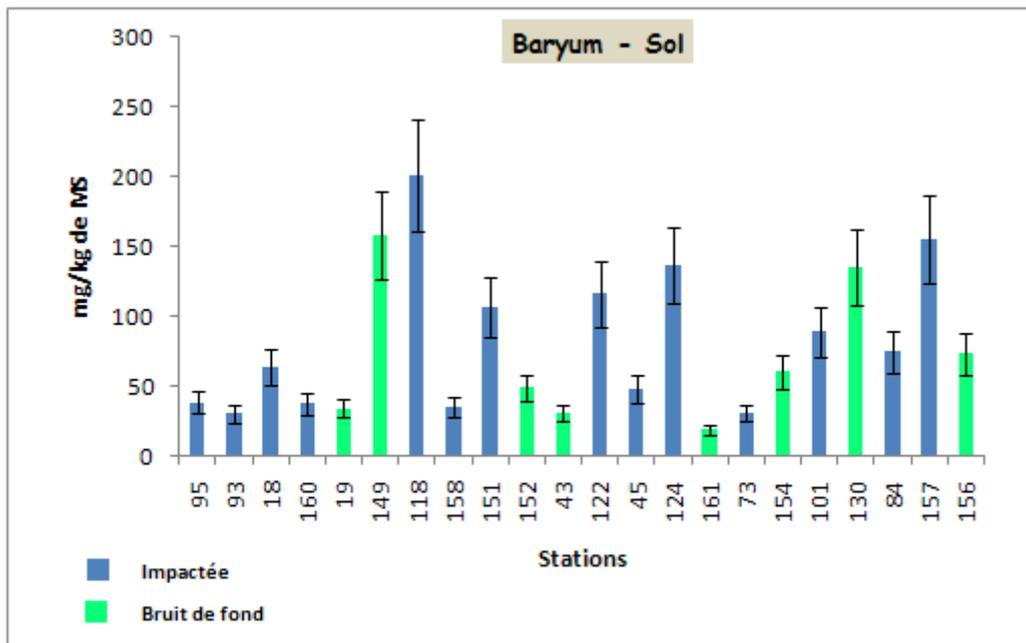
Figures 21 : Concentrations en arsenic (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude

D'après les **figures 21**, il n'y a pas de concordance entre la typologie des stations ou leur nature et les concentrations observées. En effet, la concentration moyenne observée sur les stations situées en

zone de fond est proche de celle calculée sur les stations potentiellement impactées par la rocade (8,3 mg/kg de MS contre 7,4 mg/kg de MS). De même, la concentration moyenne observée sur les sols non remaniés est proche de celle mesurée dans les jardins potagers où le sol est remanié (8,2 mg/kg de MS contre 7,2 mg/kg de MS).

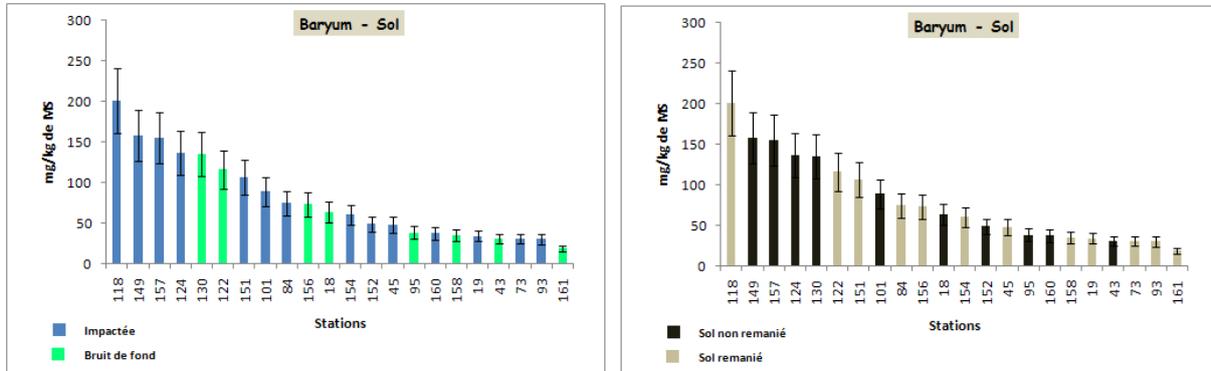
b) Le baryum

D'après la littérature, les concentrations en baryum sont assez hétérogènes en fonction de la région et du sol rencontré. Le rapport du BRGM/RP⁵0888-FR met en avant la valeur de 600 mg/kg comme représentative de la moyenne arithmétique rencontrée dans les sols (Barbier, 1979). Dans les sols prélevés dans le domaine d'étude, les teneurs varient de 19 à 200 mg/kg de MS (**figure 23**).



Figures 22 : Concentrations en baryum (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude

Cette gamme de valeurs est donc représentative des concentrations habituellement observées dans l'environnement. La valeur moyenne est de 78 mg/kg de MS. Contrairement à l'arsenic, on observe une imprégnation en baryum légèrement plus élevée dans les sols non remaniés et dans les sols situés à proximité de la rocade (**figures 23**).



Figures 23 : Répartition des concentrations en baryum (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude

c) Le cadmium

A l'exception de celles mesurées sur les stations 130 et 157, toutes les valeurs observées sont conformes aux valeurs traditionnellement relevées dans l'environnement (**figures 24**). Des valeurs fortes sont relevées sur les stations 130 et 157. Elles sont toutefois inférieures à la valeur réglementaire de l'arrêté du 8 janvier 1998. Comme pour le baryum, on observe une imprégnation en cadmium légèrement plus élevée dans les sols non remaniés et dans les sols situés à proximité de la rocade (**figures 25**).

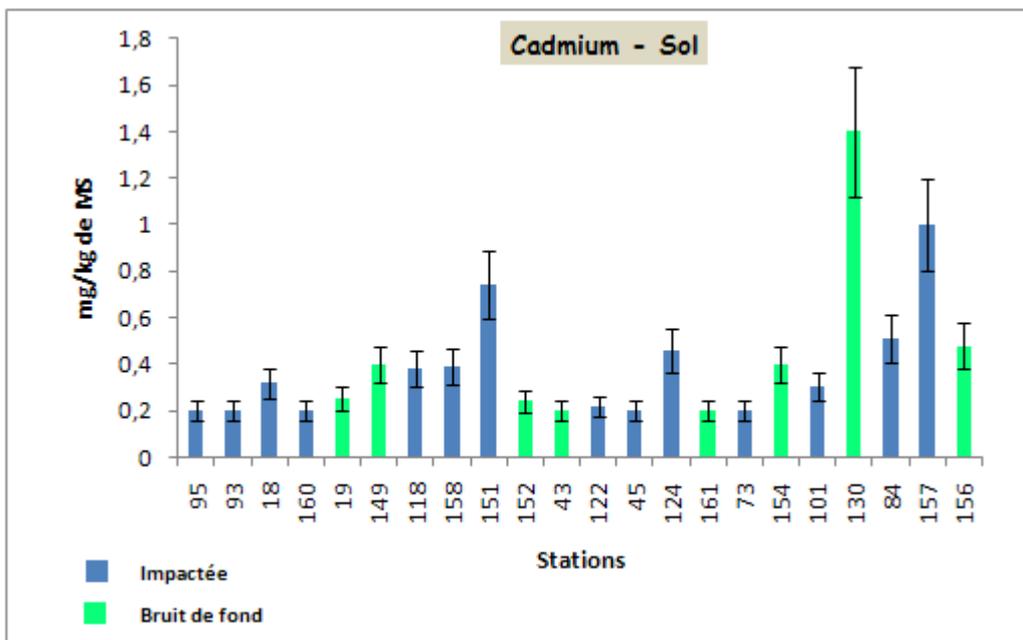


Figure 24a : Concentrations en cadmium (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude

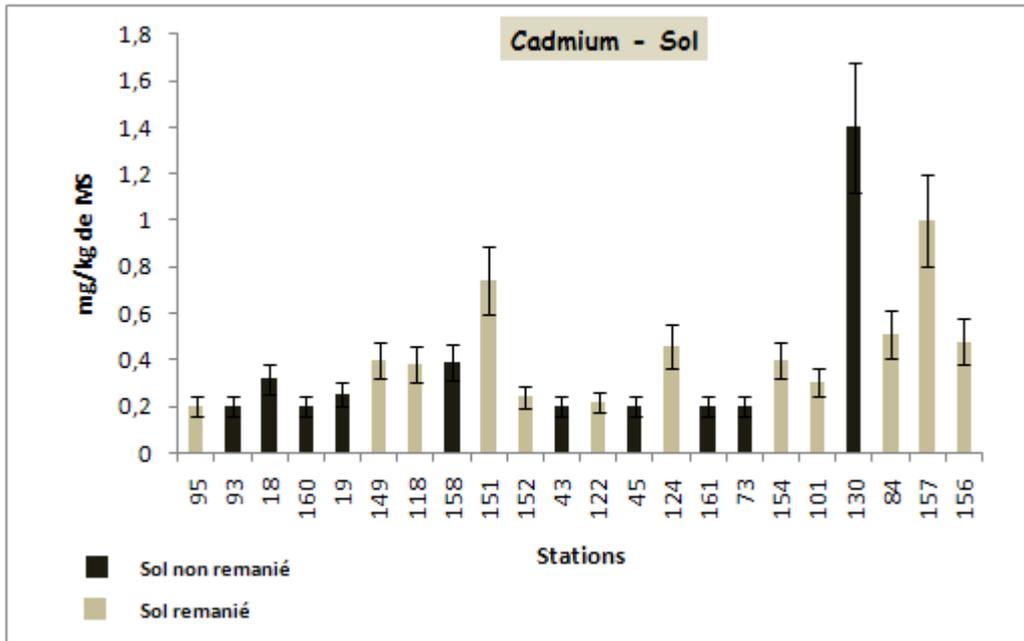
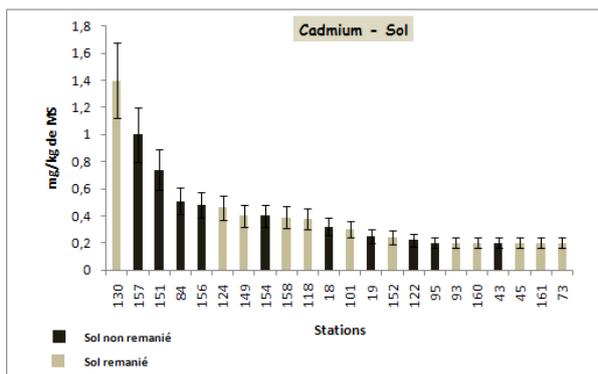
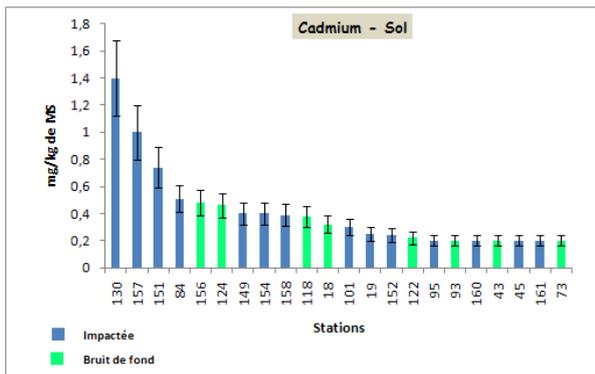


Figure 24b : Concentrations en cadmium (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude



Figures 25 : Répartition des concentrations en baryum (mg/kg de matière sèche) dans les sols prélevés dans la bande d'étude

d) Le mercure

La quasi-totalité des concentrations sont inférieures à la limite de quantification fixée à 0,2 mg/kg de MS. Seules les teneurs mesurées sur les stations 124 (jardin potager) et 130 (crèche) présentent des teneurs supérieures à cette limite. Ces valeurs restent néanmoins inférieures à la limite fixée par l'arrêté du 8 janvier 1998.

4.7.3. Indice global de la qualité des sols

Comme pour les végétaux, une hiérarchisation des stations entre elles est proposée par un indice global d'imprégnation métallique. Cet indice est construit de la manière suivante :

- pour chaque élément, les stations sont classées en fonction de la concentration mesurée par ordre décroissant ; une note n est attribuée à chaque station, n représentant la position de la station dans le classement établi par élément ; ainsi, la station qui présente la concentration la plus élevée obtient la note la plus faible de 1 ;
- lorsque les concentrations sont inférieures à la limite de quantification, elles sont classées *ex aequo* ;
- l'indice global de la qualité du sol est obtenu en sommant les notes attribuées pour chaque élément mesuré sur la station. L'indice global le plus faible est donc attribué à la station qui présente globalement les critères de qualité les plus défavorables.

Le classement est présenté dans le **tableau 14** ci-après. Il met en avant, comme précédemment, les stations 130, 157, 124 et 84 sur lesquelles des anomalies en arsenic (sur les stations 130 et 84), en cadmium (sur les stations 130 et 157) et en mercure (sur les stations 124 et 130) ont été détectées.

Tableau 14 : Hiérarchisation des stations en fonction du critère global de la qualité des sols

Numéro station	Classement obtenu pour l'As	Classement obtenu pour le Ba	Classement obtenu pour le Cd	Classement obtenu pour le Hg	Indice global
130	1	5	1	1	8
157	6	3	2	3	14
124	5	4	6	2	17
84	2	9	4	3	18
149	8	2	7	3	20
156	4	10	5	3	22
118	9	1	10	3	23
151	18	7	3	3	31
154	12	12	8	3	35
101	13	8	12	3	36
95	3	15	16	3	37
122	16	6	15	3	40
19	7	18	13	3	41
18	19	11	11	3	44
45	11	14	16	3	44
152	15	13	14	3	45
158	17	17	9	3	46
73	10	19	16	3	48
160	14	16	16	3	49
93	20	21	16	3	60
43	21	20	16	3	60
161	22	22	16	3	63

4.8. Bilan et conclusion du chapitre

La présente étude s'inscrit dans le cadre du projet de mise à 2 × 3 voies de la rocade ouest de Bordeaux (A630) entre les échangeurs n° 10 et 15. Conformément au décret du 1^{er} août 2003 modifiant le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 pris pour application de l'article 2 de la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, les effets du projet sur la qualité de l'air et la santé ont été évalués entre les échangeurs n° 4 et 16 (programme d'aménagement).

L'État, maître d'ouvrage du programme, s'est engagé, lors de l'enquête publique, à réaliser une approche plus fine des concentrations de certains polluants dans différentes matrices environnementales (air, sol et végétaux) semblant présenter des dépassements de seuils toxicologiques lors de l'étude de niveau I réalisée en 2006-2007.

La DREAL Aquitaine a missionné le groupement BioMonitor/LECES/Micropolluants Technologie afin de procéder à la mise en place d'une procédure d'échantillonnage de la qualité de l'air, des sols et des végétaux et d'apporter des éléments qui permettent de réaliser une semi-quantification d'évaluation des risques sanitaires sur les substances concernées.

Concernant les mesures de la qualité de l'air, la présente étude a montré que les mesures réalisées ne permettent pas d'établir un impact significatif de la rocade sur les populations habitant dans les zones sensibles sur lesquelles les mesures ont été réalisées. Les taux d'exposition aux vents des points de mesure de la rocade sont en effet faibles, restant souvent en deçà de 10 %, sauf au point 101 à Eysines pour la mesure des poussières PM_{2,5}.

Concernant les mesures de la qualité des végétaux, l'analyse a permis d'isoler certaines particularités pour certaines stations (globalement les stations 95, 151, 152 et 156). Elle a également montré qu'aucun lien ne pouvait être établi entre la typologie de la station, la concentration relevée et l'éloignement de la rocade par rapport aux potagers retenus. En effet, les valeurs relevées sur les stations de fond sont souvent conformes, voire supérieures, à celles mesurées sur les stations potentiellement impactées par la rocade. Seule la situation rencontrée sur la station 152 exigerait des investigations complémentaires afin d'identifier l'origine du dépassement de la teneur maximale réglementaire pour le cadmium admissible dans les légumes.

Parallèlement, l'analyse des sols a montré que les concentrations en métaux s'apparentaient aux teneurs habituellement trouvées dans les sols. Quelques cas particuliers sont mis en évidence. Ils sont observés sur les stations 124, 130 et 157 où les valeurs ne correspondent plus à celles traditionnellement identifiées dans les sols et/ou sont significativement plus élevées que sur les autres stations. Cela concerne l'arsenic sur la station 130, le cadmium sur les stations 130 et 157 et le mercure sur les stations 124 et 130.

Contrairement aux résultats présentés pour les légumes, on observe, pour le baryum et le cadmium, une imprégnation légèrement plus élevée dans les sols non remaniés et dans les sols situés à proximité de la rocade.

Les mesures ont été réalisées dans le but d'obtenir des données valorisables pour l'évaluation des risques sanitaires par inhalation et ingestion et pour servir de base à un éventuel suivi dans le temps de l'environnement autour de l'infrastructure routière. Dans les deux cas, les valeurs mesurées seront intégrées dans divers modèles de transferts de polluants dans différents media amenant une estimation de l'exposition des populations.

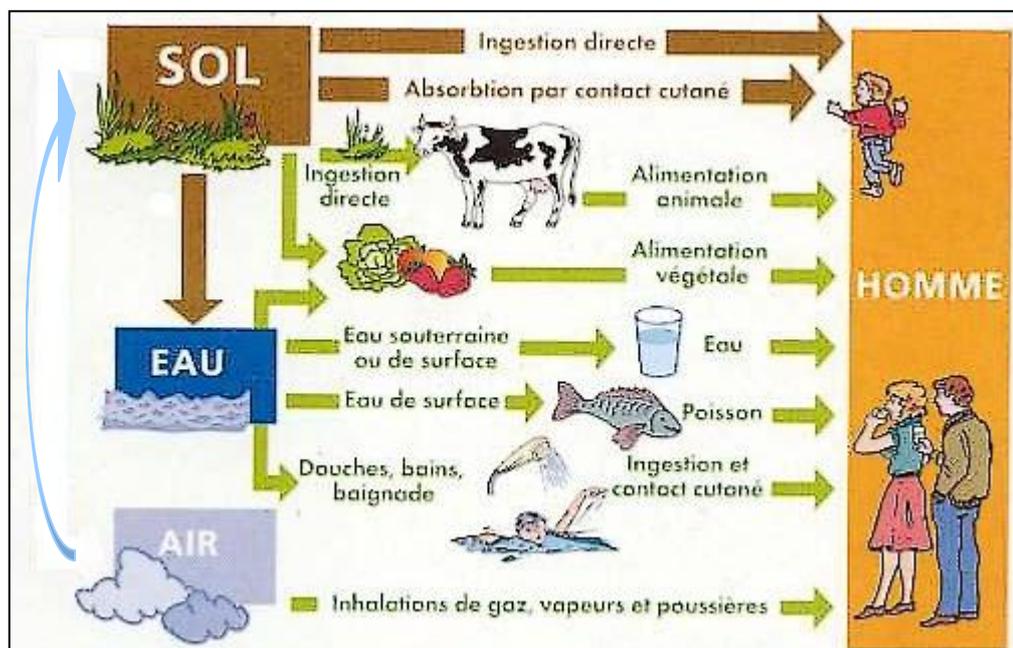
5. L'IDENTIFICATION DES DANGERS ET LE CHOIX DES POLLUANTS TRACEURS DU RISQUE

5.1. Schéma global d'exposition

La part relative du trafic automobile dans les émissions polluantes en France a progressé en raison d'une diminution des rejets des sources fixes et de l'augmentation du trafic et du parc automobile. Les substances émises par le trafic routier sont très nombreuses et forment, à proximité des routes, un véritable cocktail de polluants dans l'air. Après avoir été dispersés dans l'environnement, les polluants générés par les véhicules (pots d'échappements, pneumatiques) et l'ouvrage (glissières de sécurité, chaussées, etc.) se retrouvent et se partagent dans différents compartiments (air, eau, sol, végétaux) selon leurs propriétés physico-chimiques et les conditions environnementales.

L'étendue de cette dispersion et la persistance du polluant dans l'air sont très variables. Elles dépendent notamment de la forme sous laquelle se trouve le polluant (gazeux ou particulaire), des caractéristiques spécifiques conditionnant l'éjection des fumées et des conditions météorologiques. A plus ou moins brève échéance, les polluants les moins volatils rencontrent un support solide (eau, sol, organisme). A partir de cet instant, le devenir de ces polluants va être conditionné par leurs propriétés intrinsèques de diffusion (dans l'eau ou dans les graisses essentiellement) ou par des phénomènes physiques simples comme l'érosion éolienne ou le ruissellement.

Ainsi, avant d'atteindre l'homme, le contaminant se déplacera à travers le médium (eau, air, sol ou aliments) jusqu'aux points où une exposition humaine peut se produire. On parle alors de concept source-vecteur-cible (**figure 26**).



Figures 26 : Schéma global d'exposition

Une bonne partie de ces voies est réversible (ingestion/excrétion, érosion/sédimentation, etc.). En revanche, le passage d'un compartiment à l'autre s'accompagne pour certains polluants d'un phénomène d'accumulation dont la réversibilité est moins évidente (cinétique de désorption souvent

très lente). Le risque s'accroît encore lorsque ce phénomène d'accumulation se répète au fur et à mesure que l'on remonte la chaîne alimentaire. On parle alors de biomagnification.

5.2. Les enjeux et les risques présentés par l'air, les aliments et les sols

5.2.1. Description des points d'exposition

Les deux principales voies d'exposition des populations pouvant être étudiées dans les évaluations de risques sanitaires (ERS) liées aux polluants atmosphériques émis par des infrastructures routières sont l'inhalation et l'ingestion (ce sont les deux voies d'exposition indiquées par la circulaire du 25 février 2005 précitée). L'absorption cutanée des polluants rejetés par les véhicules automobiles n'est pas retenue comme voie d'exposition à étudier dans la circulaire du 25 février 2005. Pour répondre à l'objectif de l'évaluation sanitaire du projet, il est donc nécessaire de recenser tous les points d'exposition dans les différents compartiments d'exposition de façon à déterminer les voies (inhalation, etc.) et media d'exposition (sol, eau, légumes du jardin, etc.) qu'il est pertinent de retenir pour l'ERS. Ce travail a déjà été réalisé dans l'étude de Cap Environnement et a été complété par BioMonitor lors de ses visites *in situ*.

Le **tableau 15** énumère l'ensemble des points d'exposition potentiels directs ou indirects entre les compartiments environnementaux inclus dans la présente étude (air, sol et aliments) et l'homme pris comme cible principale. Dans ce même tableau est indiqué si le point d'exposition a été recensé dans la bande d'étude du domaine d'étude. Ce relevé reflète une situation de référence qui ne tient pas compte des évolutions futures, et notamment des dynamiques urbaines et agricoles. Le vecteur eau n'est pas intégré à cette étude.

Tableau 15 : Ensemble des points d'exposition potentiels pour l'homme

Vecteur d'exposition	Points d'exposition à rechercher	Points d'exposition recensés dans ou à proximité de la bande d'étude	Voies d'exposition envisageables
Air	Habitats et lieux publics	oui	Inhalation d'air
Aliment	Cultures spécialisées (vignes)	oui	Végétaux arrosés avec de l'eau contaminée, poussant dans des endroits où le sol est contaminé ou sur lequel se sont déposés des poussières ou des sédiments contaminés. Animaux élevés ou chassés sur des sols contaminés.
	Vergers	oui	
	Jardins vivriers (potagers privés, jardins ouvriers)	oui	
	Maraîchage	oui	
	Prairies pâturées et prairies de fauches	oui	
	Forêts et zones boisées (présence de champignons, baies ou gibiers)	non	
	Polyculture élevage (maïs, céréale à paille,...)	oui	
Sol	Cultures intensives (céréales, maïs)	oui	Ingestion directe de sol pollué
	Equipements collectifs ouverts (stade,...)	oui	
	Aires récréatives ouvertes au public	oui	
	Habitats pavillonnaires avec jardins	oui	
	Ecoles maternelles ou primaires	oui	

La localisation de l'ensemble des 148 « sites sensibles » recensés sur la bande d'étude est présentée par la figure de l'annexe 96 de l'étude Cap Environnement. On retrouve parmi ces points ceux ayant fait l'objet d'une instrumentation sur le terrain ou ayant fait l'objet de prélèvements par les laboratoires BioMonitor et LECES. Ils sont placés dans des zones de proximité routière ou dans des zones représentatives du bruit de fond local (voir tableau 2, p 20) et comprennent :

- **des lieux d'accueil des enfants en bas âge** : crèche le Petit Prince (point 130) ;
- **des établissements scolaires** : école Montesquieu (point 93), école maternelle Leygues (point 160), groupe scolaire E. Herriot (point 19), groupe scolaire J. Cartier (point 158), école maternelle J. Macé (point 45), école primaire E. Herriot (point 161), groupe scolaire Migron (point 73) ;
- **une maison de retraite** : résidence Médicis (point 38) ;
- **des sites dédiés à la pratique d'activités sportives en plein air** : stade de Pessac (point 18), complexe Daniel Colombin (point 43), centre sportif Daugère (point 84) ;
- **des habitations proches de la rocade** : habitations situées sur Pessac (points 95, 104) et sur Eysines (point 101) ;
- **des jardins potagers** : à Pessac (points 95, 118, 149), à Mérignac (points 151, 152, 122), à Eysines (points 124, 154, 101) et à Bruges (points 156, 157).

Comme précisé dans le chapitre 4.3.2.4 ci-dessus, les investigations de terrain ont montré l'absence de zones à pâture à proximité immédiate de la rocade malgré la présence d'exploitations agricoles principalement tournées vers l'élevage (bovin, ovin et/ou caprin) comme la ferme Fourcade de Bruges, d'exploitations principalement tournées vers les polycultures (notamment les céréales) comme l'exploitation Daniel Cultures Céréales de Bruges, d'exploitations spécialisées dans le maraîchage (exemple : la société d'exploitation agricole du Tasta à Bruges). Il a été décidé avec l'ARS Aquitaine de ne pas intégrer ce type de point d'exposition dans la suite de l'étude en raison de l'absence de près à pâture dans les bandes d'étude.

De même, plusieurs domaines viticoles ont été inventoriés sur la bande d'étude tel que le Château Pape Clément de Pessac. Il a été décidé de ne pas sélectionner ces zones en raison de leur éloignement par rapport à la rocade (à plus de 200 mètre) et des principaux axes modélisés dans l'étude de Cap Environnement. L'étude de dispersion a montré que les dépôts atmosphériques les plus élevées n'étaient pas observés sur ces stations. Par ailleurs, il existe une difficulté potentielle d'affectation des anomalies à un émetteur particulier, et tout particulièrement pour l'arsenic qui est un élément que l'on retrouve dans les pesticides utilisés par les viticulteurs.

5.2.2. Voies d'exposition retenues

D'après les informations rassemblées précédemment, les voies de transfert suivantes peuvent être retenues dans la présente ERS :

- l'inhalation (aiguë et chronique) des gaz et particules émis,
- l'ingestion de sol contaminé par les dépôts de particules atmosphériques,
- l'ingestion de produits végétaux cultivés dans la bande d'étude.

Les voies d'exposition citées ci-dessous ne sont donc pas retenues en raison de l'absence de ces expositions potentielles dans la bande d'étude du projet (voir argumentaire chapitre 5.2.1.) :

- l'ingestion de céréales et de produits céréaliers,
- l'ingestion de viande bovine, de lait et de produits laitiers,
- l'ingestion de viande ovine et porcine,
- l'ingestion de viande de volaille et d'œufs,

- l'ingestion d'animaux terrestres chassés dans la zone d'influence des rejets atmosphériques de l'infrastructure.

Le vecteur « eau » n'est pas considéré dans le cadre de cette étude et les risques associés n'ont pas été présentés dans l'étude de Cap Environnement. En effet, selon l'étude de Cap Environnement, la contamination de l'eau potable provenant des captages situés dans la bande d'étude « par les polluants émis par les véhicules circulant sur l'A630 apparaît comme très limitée. De même, l'ingestion accidentelle d'eau par les baigneurs fréquentant les sites dédiés à la baignade en plein air situés sur la bande d'étude n'est pas étudiée car jugée très minoritaire ». Enfin, « la consommation de poissons pêchés dans la bande d'étude ne semble pas une voie majoritaire d'exposition.

Les voies suivantes ne sont donc également pas intégrées :

- l'ingestion de l'eau potable provenant des captages situés dans la bande d'étude,
- l'ingestion accidentelle d'eau par les baigneurs fréquentant les sites dédiés à la baignade en plein air situés sur la bande d'étude,
- l'ingestion de poissons pêchés sur la bande d'étude.

5.3. L'identification des dangers et la sélection des traceurs

Le travail d'identification des dangers et la sélection des traceurs ont été réalisés par un groupe d'experts piloté par l'InVS¹⁵. Comme le précise la note méthodologique rattachée à la circulaire du 25 février 2005 « ces résultats peuvent être considérés comme stables sur une période de temps relativement courte (3 à 5 ans) ». On peut donc considérer que l'identification des dangers et la sélection des traceurs du risque sont encore d'usage. L'identification des dangers réalisée pour l'ensemble des polluants énumérés dans la note méthodologique et pour l'ensemble des voies, modes d'exposition et types d'effets (exposition aiguë, exposition chronique par inhalation et voie orale, effets cancérigènes et non cancérigènes) a été présentée dans le rapport Cap Environnement/KTT-IMA/Numtech et peut être reprise dans ce rapport.

L'identification des dangers des polluants retenus a été présentée dans le rapport Cap Environnement, au chapitre XV-2.1, pages 121 à 135.

5.4. Définition des relations dose-réponse ou dose-effet

5.4.1. La Liste des agents dangereux

L'identification des valeurs toxicologiques de référence (VTR) a également été réalisée par le groupe d'experts, qui a proposé de retenir les substances citées dans le **tableau 1** ci-avant. Ces polluants sont repris dans la note méthodologique « air et santé » du 25 février 2005 et ont été présentés dans l'étude de Cap Environnement / KTT-IMA / Numtech.

Cependant, du fait de l'évolution potentiellement plus rapide des informations dans ce domaine, il est souhaitable de vérifier l'actualité de ces VTR sur les différentes bases de données disponibles (ATSDR, IRIS, HSB, TERA, OMS, Furetox).

¹⁵ Ce groupe de travail a rédigé un rapport intitulé « Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières »

Rédacteurs : Sylvie Cassadou (InVs), Isabelle Nicoulet (DGS), Jane Noppe (ADEME), Mireille Chiron (INRETS), Aurore Rouhan (CAREPS), Adeline Barneaud (VnC), Christelle Bassi (CETE d'Aix), Laurence Calovi (SETRA), Jean-Pierre Vinot (CERTU), Hélène Desqueyroux (ADEME), Vincent Nedellec (VNC).

Dans le cadre de cette étude, la réactualisation des VTR ne concerne que les polluants semblant présenter des dépassements de seuils sanitaires, à savoir le dioxyde d'azote, les particules diesel, l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome et le mercure. Toutes les voies d'exposition sont étudiées ci-après pour ces polluants indépendamment des dépassements observés.

5.4.2. Le choix des valeurs toxicologiques de référence

Pour tous les polluants qui ont été retenus à l'étape précédente, notamment en fonction de leur danger sur la santé, une VTR doit être fixée. Ces données constituent les indices qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique avec effet de seuil) ou une relation entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans effet de seuil). Les critères de choix des VTR et les bases de données consultées dans le cadre de cette étude ont suivi les préconisations de la circulaire du 30 mai 2006¹⁶ et ceux du guide relatif au choix des VTR de l'INERIS¹⁷.

Toutes les VTR sont présentées dans les **tableaux 16 à 20** ci-après où figurent : le nom de la substance, l'effet critique observé (pour les substances non cancérogènes) ou la localisation du site tumoral (pour les substances cancérogènes), la valeur de la VTR des effets à seuil de dose, la classification en terme de cancérogénicité proposée par le CIRC et l'US-EPA et la valeur numérique de la VTR des effets sans seuil (ERU exprimé en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, la source d'information (OMS, ATSDR, US-EPA...) et l'année de l'évaluation ou de la dernière révision. Seules les VTR qui ont évolué font l'objet d'une justification (**tableau 21**).

A l'heure actuelle, il n'existe pas de VTR pour le dioxyde d'azote. En l'absence de VTR, les valeurs guides et valeurs réglementaires offrent des points de repères quant aux concentrations dans l'air ambiant. Ce ne sont cependant en aucun cas des VTR.

Tableau 16 : Présentation de la valeur guide pour les effets aigus des toxiques systémiques par voie respiratoire

Substance	Effet critique	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Source
Dioxyde d'azote	Atteintes des fonctions pulmonaires	200 (moyenne horaire)	OMS, 2005

Tableau 17 : Présentation de la VTR ou de la valeur guide pour les effets chroniques des toxiques systémiques par voie respiratoire

Substance	Effet critique	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Source
Dioxyde d'azote	Diminution de la fonction respiratoire	40	OMS, 2005
Particules diesel	Effets respiratoires	5	EPA, 2003

Tableau 18 : Présentation des VTR chroniques des toxiques cancérogènes par voie respiratoire

Substance	Classe cancérogène	Type de cancer	ERU ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Source
Chrome VI	1/A	Poumon	$1,5 \cdot 10^{-1}$	OEHHA, 2005
Particules diesel	2A	Poumon	$3,4 \cdot 10^{-5}$	OMS, 1996

Selon la classification du CIRC : 1 = cancérogène chez l'homme ; 2A = cancérogène probable ; 2B = cancérogène possible ; 3 = inclassable.

Selon la classification de l'US EPA = A = cancérogène chez l'homme ; B = cancérogène probable chez l'homme ; B1 = preuves épidémiologiques limitées ; B2 = preuves suffisantes chez l'animal mais inadéquates ou inexistantes chez l'homme ; C = cancérogène possible chez l'homme ; D = inclassable.

¹⁶ La circulaire DGS/SD7B/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.

¹⁷ INERIS, 2009, Point sur les valeurs toxicologiques de référence (VTR) – mars 2009, N°DRC-08-94380-11776C.

Tableau 19 : Présentation des VTR chroniques des toxiques systémiques par voie orale

Substance	Effet critique	VTR (mg/kg.j)	Source
Arsenic	Effets sur la peau	3.10^{-4}	ATSDR, 2005
Baryum	Effets sur le rein	2.10^{-1}	ATSDR, 2007
Cadmium	Altérations rénales	5.10^{-4}	OEHHA, 2005
Mercure	Effets neuro-psychologiques	1.10^{-4}	EPA, 2001

Tableau 20 : Présentation des VTR chroniques des toxiques cancérigènes par voie orale

Substance	Classe cancérigène	Type de cancer	ERU (mg/kg.j) ⁻¹	Source
Arsenic	1/A	Peau	1,5	OEHHA, 2005

Selon la classification du CIRC : 1 = cancérigène chez l'homme ; 2A = cancérigène probable ; 2B = cancérigène possible ; 3 = inclassable,

Selon la classification de l'US EPA = A = cancérigène chez l'homme ; B = cancérigène probable chez l'homme ; B1 = preuves épidémiologiques limitées ; B2 = preuves suffisantes chez l'animal mais inadéquates ou inexistantes chez l'homme ; C = cancérigène possible chez l'homme ; D = inclassable.

Tableau 21 : Présentation des évolutions des VTR ou valeur-guide par élément

	ETUDE CAP ENVIRONNEMENT	ETUDE BIOMONITOR	REMARQUES
DIOXYDE D'AZOTE			
Exposition aiguë	200 µg/m ³ (OMS, 2005)	idem	
Exposition chronique respiratoire	40 µg/m ³ (OMS, 2005)	idem	
PARTICULES DIESEL			
Exposition chronique respiratoire avec effet à seuil	5 µg/m ³ (EPA, 2003)	idem	
Exposition chronique respiratoire avec effet sans seuil	3,4.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (OMS, 1996)	idem	
ARSENIC			
Exposition chronique orale avec effet à seuil	3.10 ⁻⁴ mg/kg.j (ATSDR, 2005)	idem	La VTR choisie initialement venait de l'EPA et datait de 1993. Cette valeur a été également proposée en 2005 par l'ATSDR et l'OEHHA.
Exposition chronique orale avec effet sans seuil	1,5 (mg/kg.j) ⁻¹ (OEHHA, 2005)	idem	La VTR choisie initialement venait de l'EPA et datée de 1998. Cette valeur a été également proposée en 2005 par l'OEHHA.
BARYUM			
Exposition chronique orale avec effet à seuil	2.10⁻² mg/kg.j (RIVM, 2001)	2.10⁻¹ mg/kg.j (ATSDR, 2007)	ATSDR ET EPA ont défini une VTR commune. On part sur cette VTR qui est d'ailleurs plus récente que celle du RIVM. La circulaire de mars 2006 recommande par défaut de retenir celle de l'US EPA.
CADMIUM			
Exposition chronique orale avec effet à seuil	2.10⁻⁴ mg/kg.j (ATSDR, 1999)	5.10⁻⁴ mg/kg.j (OEHHA, 2005)	L'ATSDR a défini en 1999 une VTR basée sur les résultats de la microglobinurie pour élaborer la VTR pour des atteintes rénales. Or, ce n'est pas un bon paramètre pour évaluer la toxicité rénale. L'EPA, le RIVM, l'OEHHA et l'OMS proposent une VTR basée sur le même effet critique. Les informations prises en compte sont de bonne qualité ainsi que le raisonnement qui justifie le facteur d'incertitude. Néanmoins, les valeurs proposées par l'OEHHA et le RIVM sont retenues car elles prennent en compte un facteur supplémentaire par rapport à l'EPA. Par ailleurs, la valeur de l'OMS est provisoire.
CHROME VI			
Exposition chronique respiratoire avec effet sans seuil	4.10⁻² (µg/m³)⁻¹ (OMS, 1990)	1,5.10⁻¹ (µg/m³)⁻¹ (OEHHA, 2005)	L'OEHHA donne une VTR plus récente datée de 2005.
MERCURE			
Exposition chronique orale avec effet à seuil	1.10 ⁻⁴ mg/kg.j (EPA, 2001)	idem	

6. LA REEVALUATION DE L'EXPOSITION PAR INHALATION

6.1. Quels sont les polluants et les types d'exposition étudiés?

La présente étude est consacrée à l'affinage des risques sanitaires évalués initialement pour les polluants ayant présenté des dépassements des seuils sanitaires par inhalation, à savoir :

- le dioxyde d'azote pour une exposition aiguë,
- les particules fines et le chrome pour une exposition respiratoire chronique sans effet de seuil.

Le cas du chrome sera exposé pour démontrer l'absence de risques de dépassements et justifier que ce polluant a été exclu a priori de la phase de mesures à laquelle le chapitre 4 du présent rapport a été consacré.

Dans l'étude de Cap Environnement, l'estimation des concentrations d'exposition était plus largement effectuée à partir des émissions de la rocade seule (axes modélisés). L'étude s'attache partiellement à caractériser les concentrations d'exposition pour la situation globale (impact lié à la rocade et au bruit de fond) et les horizons futurs 2020. Dans la présente étude complémentaire, les risques sanitaires globaux calculés lors d'une exposition chronique par voie respiratoire à effet de seuil pour le dioxyde d'azote et les particules diesel seront donc également présentés.

6.2. Etat d'exposition considéré

Comme le précise le « Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact » publié en février 2000 par l'InVS, «l'évaluation des risques sanitaires portera non seulement sur les risques présentés par l'émetteur lui-même mais, dans le cas où d'autres sources de nuisances existent déjà dans l'environnement, une évaluation sera faite également à partir des données disponibles sur ces sources afin d'étudier si le risque additionnel présenté par le projet n'amène pas l'ensemble des risques à un niveau trop élevé». L'objectif de la présente évaluation des risques sanitaires est bien d'évaluer le risque additionnel engendré par le projet par rapport au bruit de fond existant.

L'estimation des expositions va donc être effectuée en considérant :

- un état initial établi sur la base des mesures de la qualité de l'air,
- un état futur avec projet. On estimera les effets simultanés de la pollution de fond et de la pollution résultant des émissions de la rocade.

6.3. Scenarii d'exposition retenus pour la voie respiratoire

L'évaluation des risques sanitaires par inhalation est réalisée au droit de l'habitation située sur le stade de l'avenue d'Aquitaine à Pessac (point 18), de la maison de retraite Médicis à Mérignac (point 38) et de l'habitation située rue du Champ de Course à Eysines (point 101).

Aussi, pour la voie d'exposition par inhalation, retiendra-t-on des scenarii d'exposition résidentielle, représentatifs de l'exposition des habitants ou des résidents de la maison de retraite :

- le **scénario 1** qui considère que la personne fréquente de manière permanente le point d'exposition ; un tel scénario est représentatif de la situation rencontrée à la maison de retraite (point 38) et au point 101 par certaines personnes ;
- le **scénario 2** qui considère que la personne passe du temps hors de la zone d'étude lors des vacances et du travail ; ce scénario est représentatif du contexte d'exposition rencontré aux points 18 et 101 par certaines personnes. Dans ce scénario, on considère également les concentrations

journalières d'inhalation lors de l'absence du domicile. Elles seront calculées sur la base des concentrations de fond observées sur le site AIRAQ de Talence et présentées dans le **tableau 22**.

6.4. Les paramètres d'exposition étudiés

6.4.1. Recensement des populations

Le recensement des populations a été fait au droit de chaque point d'exposition inclus dans cette étude lors des mesures réalisées en 2010. Sur chaque point d'exposition, on considère que la population va rester constante entre 2010 et 2020.

Il ne sera pas fait de distinction pour des sous-populations spécifiques (enfants, personnes âgées, etc.) car les VTR utilisées tiennent déjà compte de l'existence de personnes ou sous-groupes plus sensibles que l'ensemble de la population et intègrent également la variabilité physiologique inter individus (poids corporel, débit respiratoire).

6.4.2. Paramètres d'exposition des individus

6.4.2.1. Durée d'exposition

La durée d'exposition des individus s'exprime en années, elle correspond au temps de séjour des personnes dans le domaine d'étude. Les VTR pour les substances à effets cancérigènes sont définies pour une exposition vie entière (égale, par convention, à 70 ans). Aussi pour ce type d'effets, un facteur de pondération est-il introduit dans le calcul de la concentration moyenne inhalée pour les expositions de durée inférieure à 70 ans. Ce facteur de pondération est égal au rapport entre la durée d'exposition (DE), correspondant à la durée de séjour des personnes sur le site d'exposition, et le temps de pondération (Tm) égal à 70 ans.

Il ressort d'une étude réalisée par l'INSEE qu'en 2002 l'ancienneté dans le logement était de 14 ans et 4 mois en moyenne pour la France¹⁸. Globalement il apparaît que les temps moyens de résidence se situent entre 10 et 20 ans en fonction des études. Il est toutefois recommandé dans le cadre d'études sanitaires d'adopter, pour les risques par inhalation, une durée de résidence de 30 ans, qui correspond au temps de résidence maximal dans une même habitation pour 90% de la population. Par ailleurs, la valeur de 30 ans est celle souvent utilisée par l'US-EPA dans les scénarios dits résidentiels. Pour la voie d'exposition par inhalation, la valeur « 30 ans » sera donc attribuée au paramètre d'exposition DE.

Cette durée d'exposition est cohérente avec les informations requises lors de la prospection de terrain. Le résident situé sur le point 101 et le gardien habitant sur le stade sont présents sur chaque point d'exposition depuis 11 ans.

Les concentrations en polluants sont prises identiques à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Les incertitudes liées à cette hypothèse feront l'objet d'une discussion dans le chapitre 6.7.2.1.

6.4.2.2. La fréquence d'exposition des individus

Pour les expositions aiguës, les effets toxiques aigus correspondent à des expositions de courte durée (durée d'exposition proche de l'heure). Aussi, pour ce type d'exposition, nous considérerons que, quel que soit le scénario étudié, la fréquence d'exposition F est égale à 1.

¹⁸ De plus en plus de maisons individuelles, INSEE PREMIERE, février 2003, n°885.

Pour les expositions chroniques, d'après une étude de l'INSEE¹⁹, 64,6 % des français sont partis en vacances en 2004 et la durée moyenne annuelle des vacances est de 26,0 jours.

Dans le cadre d'un scénario 1, on considérera une fréquence d'exposition de 365 jours par an.

Si l'on considère qu'en moyenne les Français passent 26,0 jours par an en vacances hors du domicile, alors la fréquence d'exposition de la population résidentielle est égale à $(365 - 26) / 365 = 92,9 \%$. Aussi, on considérera pour un scénario 2 que la fréquence d'exposition F est égale à 0,929.

6.4.2.3. Le taux d'exposition

Dans le cadre du scénario 2, on considère ici que les individus présents sur chaque point d'exposition quittent la zone d'étude 45 heures par semaine pour aller travailler. Chaque individu quitte donc 26,8 % du temps son domicile. On peut considérer que la fraction de temps TE est en moyenne de 0,732 par jour, ce qui signifie que lorsque les individus sont présents sur la zone d'étude, ils sont exposés 73,2 % du temps aux concentrations C_i en polluants émis par la rocade (ou le projet d'aménagement).

Dans le cas d'une exposition aiguë, la fraction de temps TE est égale à 1.

6.4.3. Estimation des concentrations atmosphériques

La chaîne de modélisation utilisée est explicitée dans l'étude de Cap Environnement / KTT-iMA / Numtech, au chapitre XI pour la partie « émissions » et au chapitre XII pour la partie « dispersion des polluants gazeux ». Les émissions en polluants ont été calculées dans l'étude de Cap Environnement / KTT-iMA / Numtech à l'aide du logiciel IMPACT ADEME à partir de l'étude de trafic. Les concentrations en polluants, en moyennes annuelles et pour l'heure de pointe, ont été modélisées à l'aide du logiciel ADMS (modèle gaussien nouvelle génération).

Aux 148 points sensibles identifiés sur la bande d'étude, la modélisation a permis de déterminer, selon le type d'exposition considérée (aiguë ou chronique) :

- pour les expositions de type aigu au dioxyde d'azote : les valeurs maximales (percentiles 100) horaires liées aux émissions de la rocade en situation actuelle et en 2020 avec et sans projet,
- pour les expositions de type chronique au dioxyde d'azote, au chrome et aux particules diesel : les concentrations moyennes annuelles liées aux émissions de la rocade en situation actuelle et en 2020 avec et sans projet.

Pour les calculs des concentrations en NO₂ et PM₁₀, la pollution de fond a également été intégrée de façon précise dans les calculs de concentrations. Les données proviennent des mesures réalisées par le réseau de surveillance de la qualité de l'air AIRAQ à la station de Talence (station de type urbain de fond) pour le NO₂ et les PM₁₀ et à la station de Léognan pour l'ozone. Des données mesurées sur l'année 2005 ont été intégrées, à un pas de temps horaire, pour le calcul des concentrations en NO₂ avec prise en compte de la pollution de fond. Les données en ozone étaient nécessaires pour le calcul des concentrations en NO₂ réalisé à l'aide du schéma chimique à 7 réactions incluant l'ozone.

Tous les résultats sont présentés dans l'**annexe A-7**.

¹⁹ Vacances : les générations se suivent et se ressemblent...de plus en plus, INSEE PREMIERE, août 2007, n°1154.

Ces valeurs seront utilisées pour définir les situations futures 2020. Elles permettront également de réévaluer les risques pour le chrome et de travailler sur l'analyse semi-quantitative des incertitudes.

6.4.4. Les concentrations de fond

6.4.4.1. Cas du NO₂, du chrome et des PM_{2,5}

L'étude initiale de Cap Environnement s'est partiellement attachée à caractériser les concentrations d'exposition pour la situation globale (impact lié à la rocade et au bruit de fond) et les horizons futurs 2020. Pourtant, comme le précise le « Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact » publié en 2000 par l'Institut de Veille Sanitaire : « l'évaluation des risques sanitaires portera non seulement sur les risques présentés par le projet lui-même mais, dans le cas où d'autres sources de nuisances existent déjà dans l'environnement, une évaluation sera faite également à partir des données disponibles sur ces sources afin d'étudier si le risque additionnel présenté par le projet n'amène pas l'ensemble des risques à un niveau trop élevé ».

Les concentrations de fond en polluants déterminés sur la zone d'étude peuvent être estimées à partir de la campagne de mesure réalisée par Cap Environnement sur le site B2 implanté à l'ouest de la rocade à Pessac (cas du chrome). Les résultats sont présentés dans le chapitre IX « Synthèse des mesures effectuées en saison chaude et en saison froide). Les concentrations de fond peuvent également être évaluées à partir des données de la station fixe AIRAQ de Talence représentative du bruit urbain de fond de l'agglomération de Bordeaux (cas des PM_{2,5} et du NO₂).

Les concentrations de fond sont considérées comme constantes entre les différents scénarii, actuels et futurs. Elles sont ajoutées aux concentrations modélisées pour les horizons 2020 (sauf pour le NO₂) correspondant aux polluants produits par le trafic sur les différents axes retenus dans le domaine d'étude. Cette hypothèse conduit à surévaluer l'exposition des populations pour les scénarii futurs car les améliorations technologiques aussi bien dans le domaine automobile que dans celui de l'industrie devraient diminuer les rejets des polluants dans l'atmosphère et donc leurs concentrations.

Concernant le NO₂, les concentrations modélisées dans l'étude Cap Environnement tiennent déjà compte de la concentration de fond en NO₂ qui provenait des mesures horaires réalisées par le réseau AIRAQ à la station de Talence. Les concentrations modélisées aux différents horizons seront utilisées directement.

Les concentrations de fond sont présentées dans le **tableau 22**.

Tableau 22 : Concentrations de fond en moyenne annuelle observées sur la zone d'étude

	Maximales horaires (en µg/m ³)	Moyenne annuelle (en µg/m ³)
NO ₂		22 (moyenne observée sur la station AIRAQ de Talence entre le 01/01/2010 et le 31/12/2010)
Cr	-	1,97.10 ⁻³ (observée sur B2)
PM _{2,5}	-	18 (moyenne observée sur la station AIRAQ de Talence entre le 01/01/2010 et le 31/12/2010)

6.4.4.2. Cas du chrome VI

Dans l'atmosphère, le chrome est essentiellement présent sous forme trivalente. On considère généralement que la forme hexavalente représente 10 % du chrome total mesuré dans l'atmosphère²⁰ et mesuré à l'émission. Par la suite, la concentration en bruit de fond en chrome a été décomposée de la manière suivante : le chrome total composé de 90 % de chrome III et de 10 % de chrome VI. On peut ainsi considérer que la concentration locale de fond en chrome III est de $1,77 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ et que celle du chrome VI est de $1,97 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6.4.4.3. Cas des particules diesel

Dans le cas des particules diesel, la concentration de fond peut être établie à partir de celle des PM_{2,5} mesurée sur la station automatique de Talence d'AIRAQ. En 2010, la moyenne annuelle en PM_{2,5} était de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Selon le cadastre d'émissions réalisé par le réseau local de surveillance de la qualité de l'air, le transport routier serait à l'origine de 7,3 % des émissions totales en PM_{2,5} sur la station de Talence (**figure 27**). Comme les PM_{2,5} émises par les véhicules sont majoritairement des particules diesel, on peut considérer un bruit de fond en particules diesel de $1,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Répartition des émissions de PM_{2,5} à Talence

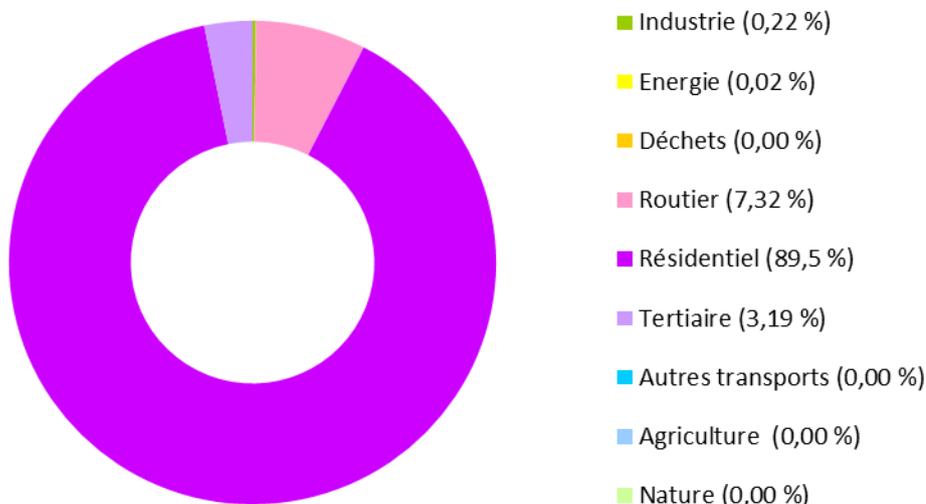


Figure 27 : Répartition des émissions de PM_{2,5} sur la station de Talence par secteur d'activités

²⁰ Guide méthodologique pour l'évaluation de l'impact sanitaire des rejets des raffineries de pétrole, 2003, Ministère de l'environnement.

6.5. Estimations des concentrations d'exposition

6.5.1. Principe

Pour chacun des agents dangereux, l'exposition par voie respiratoire se traduit par une concentration moyenne inhalée (CMI), qui est la concentration du polluant dans l'air respirée par l'individu, en tenant compte de la fréquence et de la durée de son exposition.

La CMI est exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ou mg/m^3 et calculée selon la formule générale suivante :

$$\text{CMI} = \frac{\text{C} \times \text{TE} \times \text{F} \times \text{DE}}{\text{TP}}$$

CMI : concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C : concentration du toxique « i » dans l'air en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (estimée par modélisation ou par mesure)

TE : taux d'exposition à la concentration Ci pendant une journée

F : fréquence ou taux d'exposition annuel

DE : T durée d'exposition (en année) - terme utilisé uniquement pour l'exposition aux toxiques cancérigènes

TP : temps de pondération (égal à la durée conventionnelle de la vie humaine, 70 ans). Terme utilisé uniquement pour l'exposition aux toxiques cancérigènes

Ces concentrations, calculées sur chaque point d'exposition sont comparées aux VTR et permettent de déterminer les quotients de danger pour les polluants non cancérigènes ainsi que les excès de risques individuels pour les polluants cancérigènes.

6.5.2. Pour les expositions aiguës : cas du dioxyde d'azote

Pour les expositions de courte durée au dioxyde d'azote, c'est la concentration maximale horaire (CMH = percentile 100) qui est utilisée. Elle est directement comparée à la valeur guide sans pondération temporelle.

Pour les expositions de courte durée, l'exposition est déterminée comme ci-après :

$$\text{CMI} = \text{CMH}$$

CMI : concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CMH : concentration maximale horaire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

6.5.3. Pour les expositions chroniques avec effets à seuil : cas du dioxyde d'azote et des particules diesel

Les expositions chroniques sont représentées par les moyennes annuelles des concentrations journalières de polluant, ajustées sur la fréquence moyenne d'exposition des individus au contact de l'agent dangereux.

La durée de l'exposition n'intervient pas pour les effets chroniques réputés à seuil (non cancérigènes) à partir du moment où elle dépasse un an. Cette condition est remplie puisqu'on utilise des moyennes annuelles de concentration atmosphérique.

La CMI se rapproche ainsi d'une moyenne annuelle ne tenant pas compte de la période totale d'exposition. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{CMI} = \text{CMA} \times \text{TE} \times \text{F}$$

CMI : concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CMA : concentration moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

F = 1 dans le cadre du scénario 1 et F= 0,929 dans le cadre du scénario 2

TE = 1 dans le cadre du scénario 1 et TE=0,732 dans le cadre du scénario 2

6.5.4. Pour les expositions chroniques avec effets sans seuil : cas du chrome et des particules diesel

Il faut tenir compte du nombre d'années d'exposition, pour des raisons de cohérence avec les VTR, dérivées d'études où l'exposition est réalisée pour une durée « vie entière » (soit 70 ans = TP pour la durée de vie standard humaine). La dose estimée est alors proportionnelle au rapport « durée d'exposition / durée de vie entière ». Cette pondération est réalisée sous l'hypothèse d'un cumul de dose : autrement dit, le risque de cancer pour une unité de dose quotidienne reçue pendant 10 ans est égal au risque pour 2 unités de dose délivrées pendant 5 ans [InVS 2000], etc.

Pour les substances cancérigènes, les paramètres de calcul de la CMI sont donc :

$$CMI = \frac{CMA \times TE \times F \times DE}{TP}$$

CMI : concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

CMA : concentration moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

F = 1 dans le cadre du scénario 1 et F = 0,929 dans le cadre du scénario 2.

TE = 1 dans le cadre du scénario 1 et TE = 0,732 dans le cadre du scénario 2.

DE : nombre d'années passées sur la zone exposée = 30 ans

TP : 70 ans

6.5.5. Présentation des résultats de calculs d'exposition

6.5.5.1. Cas des expositions aiguës

Ce cas concerne le dioxyde d'azote. Les mesures ont été réalisées sur le point 18 (stade de Pessac). Le **tableau 23** présente la concentration maximale horaire ou percentile 100 (CMH) mis en évidence lors des mesures réalisées en 2010 et les percentiles 100 modélisées dans l'étude de Cap Environnement (présentées dans **tableau A-4** de l'**annexe A-7**). Ces percentiles tiennent compte de la pollution de fond.

Tableau 23 : Présentation des CMI (égale au CMH) pour les expositions aiguës au NO₂ calculées sur le PS18

Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
96,0	201,0	192,0	192,0

6.5.5.2. Cas des expositions chroniques avec effets à seuil

Ce cas concerne le dioxyde d'azote et les particules diesel. Les mesures de dioxyde d'azote ont été réalisées sur le point 18 et les mesures de PM_{2,5} sur les points 18, 38 et 101. Les **tableaux 24** et **25** présentent les CMI calculés pour des expositions chroniques avec effets à seuil pour les deux scénarii d'exposition. Les CMA prennent en compte la pollution de fond.

Pour les particules diesel, les CMA sont établies de la manière suivante :

En considérant que :

- la station urbaine de fond de Talence intègre en plus de la pollution régionale, la pollution urbaine (chauffage, trafic lointain, etc.),
- le tissu urbain présent autour de la rocade est moins développé qu'autour de la station de Talence, ce qui diminue l'impact du secteur résidentiel (émetteur principal) sur les concentrations en PM_{2,5} mesurées localement mais accentue celui du secteur routier,

Il est possible d'appréhender la contribution respective du transport routier et des particules diesel autour de la rocade en utilisant une répartition plus générale des émissions de PM_{2,5}. On peut alors citer la répartition des PM_{2,5} en Aquitaine qui indique que les transports routiers contribuent à 23 % des émissions totales (Source : AIRAQ – Inventaire des émissions 2006 version 2010).

Des calculs ont été réalisés pour deux cas de figure différents :

- pour l'« état initial mesuré », sur chaque point de mesures, la concentration totale en particules diesel en chaque point d'exposition est estimée en considérant que 23 % de la concentration en PM_{2,5} correspond à des particules diesel. Elle représente alors la concentration cumulée liée à l'activité autoroutière et au bruit de fond local estimé à partir des informations collectées sur la station de Talence. Par exemple, sur le point 18, la concentration en particules diesel est estimée à 15,0 µg/m³ (CMA mesuré sur le PS 18) de PM_{2,5} × 0,23 = 3,45 µg/m³ de particules diesel (dont 1,31 µg/m³ liée au bruit de fond local) ;
- pour les états modélisés, les CMA sont calculés en additionnant aux concentrations modélisées imputables aux émissions de la rocade présentées dans le **tableau A-1** de l'**annexe A-7** (chiffres Cap Environnement) la concentration de fond de 1,31 µg/m³ présentée dans le chapitre 6.4.4.3.

Pour le NO₂, les CMA correspondent :

- pour l'« état initial mesuré », à la concentration moyenne mesurée au cours des deux campagnes de mesures,
- pour les états modélisés, aux concentrations modélisées imputables aux émissions de la rocade et au bruit de fond présentées dans le **tableau A-3** de l'**annexe A-7**.

Tableau 24 : Présentation des CMI (en µg/m³) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario 1

Polluants	Point d'exposition	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
Particules diesel	PS38	3,31	2,28	2,01	2,11
	PS101	3,47	3,20	2,85	3,20

Tableau 25 : Présentation des CMI (en µg/m³) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le scénario 2

Polluants	Point d'exposition	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
NO ₂	PS 18	15,0	28,0	23,7	23,7
Particules diesel	PS18	2,25	1,83	1,44	1,46
	PS101	2,36	2,20	1,96	2,20

6.5.5.3. Cas des expositions chroniques avec effets sans seuil

Ce cas concerne les particules diesel et le chrome. Les mesures de PM_{2,5} ont été réalisées sur les points 18, 38 et 101. Le chrome n'a pas fait l'objet de mesures. Les **tableaux 26** et **27** présentent les CMI calculés pour des expositions chroniques avec effets sans seuil pour les deux scénarii d'exposition. Les CMA prennent en compte la pollution de fond.

Pour les particules diesel, les CMA ont été élaborés selon la méthodologie proposée pour les expositions chroniques avec effets à seuil. Pour le chrome, les CMA correspondent pour les états modélisés, aux concentrations modélisées imputables aux émissions de la rocade présentées dans le **tableau A-1** de l'**annexe A-7** additionnées de la concentration en chrome qui a été mesurée sur le point B2 dans l'étude de Cap Environnement, soit $1,97.10^{-3}$. La somme totale est ensuite divisée par 10 pour considérer le chrome VI.

La concentration maximale dans l'étude Cap Environnement a été modélisée sur le point 101.

Tableau 26 : Présentation des CMI (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario 1

Polluants	Point d'exposition	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
Particules diesel	PS38	1,42	0,98	0,86	0,90
	PS101	1,49	1,37	1,22	1,37
Chrome VI	PS38	-	$9,41.10^{-5}$	$9,53.10^{-5}$	$9,63.10^{-5}$
	PS101	-	$1,00.10^{-4}$	$1,03.10^{-4}$	$1,06.10^{-4}$

Tableau 27 : Présentation des CMI (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le scénario 2

Polluants	Point d'exposition	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
Particules diesel	PS18	0,96	0,79	0,62	0,63
	PS101	1,01	0,94	0,84	0,94
Chrome VI	PS18	-	$6,82.10^{-5}$	$6,79.10^{-5}$	$6,81.10^{-5}$
	PS101	-	$6,96.10^{-5}$	$7,18.10^{-5}$	$7,36.10^{-5}$

6.6. Caractérisation des risques sanitaires

La quantification des risques consiste à appliquer les relations dose-effet aux valeurs d'exposition estimées dans les étapes précédentes. Elle a pour but de connaître la possibilité d'apparition d'un effet dans une population (pour les effets non cancérogènes) ou d'obtenir l'excès de risque individuel (ERI) et éventuellement un nombre de cas en excès (NCE) attendus parmi la population exposée (pour les effets cancérogènes). L'impact sanitaire du projet est ici quantifié en prenant en compte la pollution de fond.

6.6.1. Effets non cancérogènes

6.6.6.1. Calcul du ratio de danger

Il est admis qu'il existe, pour les effets non cancérogènes chroniques et aigus, un seuil de toxicité. Dans ce cas, c'est un **quotient de danger** (QD) qui est calculé selon la formule :

$$QD_i = CMI / VTR_{i \text{ inhalation}}$$

QDi = quotient de danger pour la substance i

CMI = concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

VTRi inhalation = valeur toxicologique de référence de la substance i pour la voie respiratoire

La valeur numérique du QD n'exprime pas un risque²¹. L'évaluation est de nature qualitative : un QD inférieur ou égal à 1 signifie que la population exposée est théoriquement hors de toute possibilité d'apparition des effets indésirables pour la santé humaine, alors qu'un QD supérieur à 1 signifie que l'effet toxique peut se déclarer, sans qu'il soit possible d'estimer la probabilité d'occurrence de cet événement.

Pour le dioxyde d'azote, seule une valeur guide est disponible. Une comparaison de celle-ci avec le niveau d'exposition en polluant est réalisée (le rapport niveau d'exposition / valeur guide n'est pas un QD, mais pour faciliter la lecture du document il est désigné par le sigle « QD »).

6.6.6.2. Calcul de la somme des dangers

La circulaire du 25 février 2005 recommande d'additionner les QD des substances ayant les mêmes effets.

Pour tenir compte de la co-exposition à plusieurs toxiques et à défaut d'informations spécifiques à cette association, les quotients de danger sont traditionnellement additionnés à condition que l'organe cible des composés présents soit similaire, sous l'hypothèse d'une addition simple des effets.

On a :

$$SQD_{\text{effet } x} = \sum QD_{\text{effet } x}$$

SQD effet x : somme des quotients de danger

QD effet x : quotient de danger

Dans le cadre de cette étude, ces co-expositions ne sont pas étudiées car la qualité des informations obtenues est différente entre les deux études. En effet, dans l'étude de Cap Environnement, les QD ont été calculés uniquement sur la base des concentrations imputables aux émissions de la rocade.

²¹ Au sens biostatistique du terme, c'est à dire : la probabilité de survenue d'un effet délétère.

Les QD ne sont pas disponibles pour les autres polluants pour les différents états d'exposition sur les points d'exposition concernés.

6.6.6.3. Présentation des résultats et commentaires

Les risques sanitaires pour les effets aigus du dioxyde d'azote sont présentés dans le **tableau 28** en considérant les concentrations mentionnées dans le **tableau 23**.

Tableau 28 : Estimation des QD (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les effets aigus par voie respiratoire

Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
0,48	1,01	0,96	0,96

Pour le seul polluant retenu pour sa toxicité aiguë, les mesures réalisées en 2010 au niveau du stade de Pessac ne permettent pas de mettre en évidence de dépassements du seuil critique de 1. Ce résultat laisse penser que l'exposition aiguë des personnes exposées au niveau du point aux émissions de dioxyde d'azote de la rocade ne devrait théoriquement pas conduire à l'apparition des effets délétères sur la santé qui lui sont associés. Ce constat diffère du résultat qui avait été mis en évidence dans l'étude de Cap Environnement. En effet, dans cette étude, il avait été montré que l'exposition simultanée aux émissions des véhicules circulant sur la rocade et aux autres sources d'émissions présentes à son voisinage conduisait pour le NO_2 à un quotient de danger de l'ordre de 1 pour les situations modélisées. Cela était lié au niveau assez élevé du bruit de fond urbain considéré dans cette étude qui contribuait majoritairement au risque sanitaire (59 % du QD). Au niveau de ce site, les émissions des axes routiers étudiés contribuent aux QD aigus mais ne sont vraisemblablement pas majoritaires. Les « pics » de pollution urbaine généralisée semblent déterminants.

La situation initiale établie à partir des mesures de la qualité de l'air s'écarte donc des prévisions issues d'un calcul. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ces écarts :

- pour calculer les QD aigus, les valeurs de concentrations dans l'air prises en compte sont les percentiles 100 (horaires ou journaliers) qui ont été soit mesurés soit estimés par modélisation de la dispersion. Ces valeurs de percentiles 100 correspondent à la situation la plus défavorable, rencontrée au plus 1 heure. Or, les campagnes de mesures ont été menées dans des conditions météorologiques qui ont mis en exergue une exposition plus faible de la station 18 au cours de la période hivernale de mesures, saison au cours de laquelle les concentrations maximales sont généralement observées,
- l'étude a été réalisée sur le point 18 sur lequel les concentrations maximales avaient été modélisées à la situation actuelle. On ne peut toutefois écarter la possibilité d'une incertitude liée à la modélisation des concentrations en raison notamment de la non prise en compte dans l'étude de dispersion des configurations topographiques de la rocade et de la présence d'obstacles diminuant l'impact des émissions routières.

Les risques sanitaires pour les effets chroniques avec effets à seuil pour le dioxyde d'azote et les particules diesel sont présentés dans les **tableaux 29** et **30**. Ils considèrent les concentrations mentionnées dans les **tableaux 24** et **25**.

Tableau 29 : Présentation des QD pour les effets chroniques avec effets à seuil pour le **scénario 1**

Polluants	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Point d'exposition	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
Particules diesel	5	PS38	0,66	0,46	0,40	0,42
		PS101	0,69	0,64	0,57	0,64

Dans le cadre du scénario 1, concernant les particules diesel dont le risque a été quantifié avec des résultats de mesures de la qualité de l'air de PM_{2,5}, on n'observe pas de dépassement de la valeur seuil de 1. On observe une estimation des risques proche de celle évaluée à partir de la modélisation, notamment sur le PS101.

Tableau 30 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario 2**

Polluants	Valeur guide ou VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Point d'exposition	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
NO ₂	40	PS 18	0,38	0,70	0,59	0,59
Particules diesel	5	PS18	0,45	0,37	0,29	0,29
		PS101	0,47	0,44	0,39	0,44

Le scénario 2 met en exergue des QD inférieurs à 1 quels que soient le polluant et l'état d'exposition considérés. Selon les conditions d'expositions considérées dans ce scénario, qui tiennent notamment en compte l'absence du domicile liée aux vacances et au travail, les résultats de QD chroniques obtenus laissent penser que l'exposition chronique aux polluants concernés ne devrait théoriquement pas entraîner les effets (non cancérigènes) qui leur sont associés. Pour ce scénario, on constate une nouvelle fois, pour le dioxyde d'azote, des écarts entre la situation actuelle caractérisée par les mesures et celle identifiée par la modélisation. Les hypothèses avancées pour justifier la situation observée pour les effets aigus peuvent également être évoquées ici : conditions météorologiques peu représentatives des normales saisonnières et modélisation entachée d'incertitudes.

Pour les particules diesel, les calculs des risques sont conformes à ceux qui avaient été calculés à partir de la modélisation bien que une incertitude réside dans l'utilisation d'un pourcentage (ici 23 %) pour estimer la part des particules diesel dans les PM_{2,5} mesurées sur les trois sites de mesures.

6.6.2. Effets cancérigènes

6.6.2.1. Calcul de l'excès de risque individuel

Il est admis que les substances cancérigènes, agissent sans seuil de dose. Cela signifie qu'à toute inhalation non nulle d'un toxique cancérigène correspond une probabilité non nulle (même si elle est infinitésimale) de développer un cancer. Cette probabilité est appelée l'**excès de risque individuel** (ERI). Un ERI est calculé pour tous les points d'exposition recensés dans le domaine d'étude et pour chaque substance cancérigène en multipliant la CMI par la VTR.

Le calcul est le suivant :

$$\text{ERI}_i = \text{CMI} * \text{VTR}_{i \text{ inhalation}}$$

ERI : excès de risque individuel pour la substance i

CMI = concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

VTR_{i inhalation} = valeur toxicologique de référence de la substance i pour la voie respiratoire

6.6.2.2. Calcul de l'excès de risque global

Les excès de risque en rapport avec une exposition simultanée à plusieurs substances cancérigènes peuvent être additionnés entre eux s'ils ont le même organe cible²². Selon l'US-EPA, il est possible d'additionner tous les ERI de cancer afin d'apprécier l'excès de risque global de cancer (ERG) qui pèse sur la population exposée (tout type de cancer, toutes localisations tumorales confondues).

$$ERG = \sum ERI_i$$

ERG : Excès de risque global pour les cancers pulmonaires

ERI_{resp} : Excès de risque individuel pour les cancers pulmonaires

Dans le cadre de cette étude, ces co-expositions ne sont pas étudiées car l'étude s'attache uniquement aux polluants ayant présenté des risques de dépassement des seuils sanitaires et la qualité des informations présentées dans l'étude de Cap Environnement ne permet pas de calculer les co-expositions pour tous les polluants et pour les différents états d'exposition sur les points d'exposition concernés.

6.6.2.3. Acceptabilité des risques

L'acceptabilité des risques évalués s'effectue ensuite par comparaison à des niveaux de risque jugés socialement acceptables. Il n'existe pas, bien entendu, de seuil absolu d'acceptabilité, mais la valeur de 10^{-6} (soit un cas de cancer supplémentaire sur un million de personnes exposées durant leur vie entière) est considérée aux USA comme le seuil de risque acceptable en population générale, alors que la valeur de 10^{-4} est considérée comme limite acceptable en milieu professionnel. La valeur de 10^{-5} est souvent admise comme seuil d'intervention. Elle est citée dans la circulaire du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) du 10 décembre 1999 comme objectif à atteindre dans le cadre de la dépollution des sols. Ce seuil de 10^{-5} est également utilisé par l'OMS pour définir les valeurs guides de qualité de l'eau de boisson et de qualité de l'air. On choisira donc de comparer les résultats à la valeur 10^{-5} déjà utilisé dans l'étude de Cap Environnement et de noter, le cas échéant, les cas où ils dépassent 10^{-6} si l'on souhaite mettre en avant le principe de précaution⁻⁴⁻⁵⁻

6.6.2.4. Présentation des résultats et commentaires

Les excès de risque individuels et collectifs calculés pour une exposition de 30 ans sont présentés dans les **tableaux 31** et **32**.

²² Et également lorsque plusieurs voies d'exposition sont possibles (respiratoire et digestive par exemple).

Tableau 31 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le **scénario 1**

Polluants	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Point d'exposition	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
Particules diesel	$3,4 \cdot 10^{-5}$	PS38	$4,82 \cdot 10^{-5}$	$3,32 \cdot 10^{-5}$	$2,93 \cdot 10^{-5}$	$3,07 \cdot 10^{-5}$
		PS101	$5,06 \cdot 10^{-5}$	$4,66 \cdot 10^{-5}$	$4,15 \cdot 10^{-5}$	$4,66 \cdot 10^{-5}$
Chrome VI	$1,5 \cdot 10^{-1}$	PS38	-	$1,41 \cdot 10^{-5}$	$1,43 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-5}$
		PS101	-	$1,50 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$1,59 \cdot 10^{-5}$

Pour le scénario 1, les excès de risques individuels du chrome VI sont légèrement supérieurs au seuil d'acceptabilité de 10^{-5} pour l'ensemble des points d'exposition quel que soit l'horizon d'étude. La concentration de fond considérée, égale à $1,97 \cdot 10^{-4}$, constitue entre 80 et 90 % de l'ERI. Les ERI imputables aux émissions de la rocade seule se situent au-dessus de 10^{-6} . Ils sont compris entre $1,45 \cdot 10^{-6}$ et $3,21 \cdot 10^{-6}$. Les évolutions entre les états d'exposition sont très peu marquées.

Le cas des particules est identique puisqu'on observe des dépassements du seuil pour tous les états d'exposition. La concentration de fond engendre un ERI de $1,90 \cdot 10^{-5}$, ce qui constitue au minimum 37 % des excès de risque individuel identifiés à l'état initial. Les mesures ont mis en évidence un ERI maximal sur la station 101 située à Eysines. Ce résultat conforte les résultats de la modélisation qui avaient mis en exergue des niveaux maximaux au niveau de ce point. Selon les hypothèses retenues, l'état initial identifié par les mesures a mis en évidence des niveaux de risque légèrement plus élevés que l'état initial caractérisé par la modélisation. Si l'on considère les écarts observés entre l'état initial mesuré et l'état initial modélisé, on pourrait s'attendre à avoir une augmentation prévisible des ERI à l'horizon 2020.

Tableau 32 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le **scénario 2**

Polluants	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Point d'exposition	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
Particules diesel	$3,4 \cdot 10^{-5}$	PS18	$3,28 \cdot 10^{-5}$	$2,67 \cdot 10^{-5}$	$2,10 \cdot 10^{-5}$	$2,13 \cdot 10^{-5}$
		PS101	$3,44 \cdot 10^{-5}$	$3,21 \cdot 10^{-5}$	$2,86 \cdot 10^{-5}$	$3,21 \cdot 10^{-5}$
Chrome	$1,5 \cdot 10^{-1}$	PS18	-	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$
		PS101	-	$1,04 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$1,10 \cdot 10^{-5}$

Si l'on considère le scénario 2, on constate encore des niveaux de risque supérieurs au seuil d'acceptabilité de 10^{-5} et par conséquent à celui de 10^{-6} pour les particules diesel et le chrome sur tous les points et les états d'exposition. Comme précédemment, l'état initial identifié par les mesures a mis en évidence des niveaux de risque légèrement plus élevés que l'état initial caractérisé par la modélisation.

Pour le chrome VI, tous les ERI sont supérieurs au niveau de risque recommandé par l'OMS de 10^{-5} si l'on considère qu'il représente 10 % du chrome total. Les ERI les plus élevés sont une nouvelle fois observés sur le point 101. Les évolutions entre les états d'exposition sont très peu marquées et la concentration de fond constitue la majorité de l'ERI.

6.7. L'analyse des incertitudes

L'analyse des incertitudes permet, en faisant la synthèse de toutes les lacunes de connaissances qui ont nécessité des hypothèses et en les discutant, d'apprécier la confiance qui peut être accordée à l'évaluation et d'établir des recommandations.

Certains éléments d'incertitude étant difficilement quantifiables (incertitudes liées au modèle de trafic, au calcul des émissions, au choix de la pollution de fond, à la modélisation de la dispersion, aux VTR, à l'exposition des populations), leur évaluation sera uniquement qualitative.

6.7.1. Facteurs de sous-estimations du risque

6.7.1.1. Choix des polluants et des VTR

La sélection de certains polluants parmi tous ceux potentiellement émis sur le projet conduit à une sous-estimation du risque.

La présente analyse a porté sur les substances qui ont été mises en évidence dans l'étude de Cap Environnement. Ces substances font partie d'une liste de 16 substances recommandées par le groupe d'experts pilotés par l'InVS. Elles sont considérées comme traceurs de l'activité routière, au vu notamment des émissions et de leur potentiel toxique. Cette sélection ne peut être jugée pertinente que sur la base des connaissances disponibles aujourd'hui. Par ailleurs, tous les polluants n'ont pas pu être inclus dans l'étude à cause du manque de connaissances toxicologiques ou de l'absence de facteurs d'émissions. Il existe en effet des polluants pour lesquels aucune VTR n'est disponible. C'est le cas de polluants tels que le méthane et le protoxyde d'azote qui sont traditionnellement écartés de l'évaluation des impacts sanitaires. La non prise en compte de ces substances dans l'ERS pourrait constituer une sous-estimation du risque.

Des polluants dits « secondaires²³ » non négligeables tels que l'ozone n'ont pas été pris en considération. Leurs concentrations sont difficilement prévisibles en raison des équilibres chimiques assez complexes qui les régissent et qui se mettent en place à l'échelle régionale sur des périodes de temps assez longues (intensité du rayonnement solaire, concentrations atmosphériques de NO_x, particules ou hydrocarbures, proportion relative de ces différentes concentrations, présence d'autres sources, déplacement des masses d'air, etc.).

Ensuite, l'étude n'a été réalisée que pour les polluants pour lesquels des dépassements ont été observés. Elle ne tient pas compte des phénomènes de co-exposition pour les effets cancérigènes et non cancérigènes en raison de l'absence de données suffisantes dans l'étude de Cap Environnement.

6.7.2. Facteurs de sur-estimations du risque

6.7.2.1. Le transfert des polluants vers l'intérieur des habitations

La non-prise en compte des transferts de pollution extérieur-intérieur apporte une part d'incertitude dans l'exposition par voie respiratoire. Elle peut être quantifiée dans certains cas mais comme c'est une surestimation pour certains polluants et une sous-estimation pour d'autres, l'influence finale est inconnue.

Une étude du CSTB menée à Paris a toutefois montré par exemple qu'en l'absence de matériaux adsorbants dans l'habitat et de sources intérieures de pollution, on observe :

²³ Un polluant secondaire n'est pas directement émis par les automobiles mais se forme ensuite dans l'air.

- un transfert de l'ordre de 70 à 90 % du NO₂ de l'extérieur vers l'intérieur des bâtiments,
- un abattement de l'ordre de 20 à 25 % des particules fines et des particules carbonées au cours du transfert extérieur / intérieur.

Dans notre cas, les résultats seront alors surestimés pour le NO₂ et les particules.

Si l'on considère que les personnes passent 73,2 % de leur temps dans les bâtiments (26,8 % à l'extérieur) et que l'abattement moyen des particules diesel est de 22,5 %, on a alors pour les particules :

$$CMI_2 = CMI_1 \times 0,268 + CMI_1 \times (1 - 0,225) \times 0,732 = 0,8353 \times CMI_1$$

CMI₂ : concentration journalière d'exposition qui tient compte des transferts intérieur-extérieur et les budgets espace-temps

CMI₁ : concentration journalière d'exposition qui prend en compte la concentration en particules à l'intérieur du bâtiment égale à 100% de la concentration extérieure

Selon la formule présentée ci-dessus, les concentrations en particules diesel seraient surestimées d'un facteur 1,2. A l'intérieur des habitations, les ERI seraient encore supérieurs au seuil d'acceptabilité.

6.7.2.2. Paramètres d'exposition pour les expositions aiguës

Dans notre étude, l'exposition aiguë des individus aux polluants rejetés par la rocade a été étudiée. Elle correspond à une exposition aux pics de pollution de concentrations de courte durée. On a considéré que la fréquence d'exposition était égale à 1.

Il faut rappeler que pour calculer les QD aigus, les valeurs de concentrations dans l'air prises en compte sont les percentiles 100 (horaires ou journaliers) qui ont été soit mesurés soit estimés par modélisation de la dispersion. Or, ces valeurs de percentiles 100 correspondent à la situation la plus défavorable, rencontrée au plus 1 heure. Il s'agit donc *a priori* de situations très peu fréquentes. Si l'on compare les percentiles 100 horaires en NO₂ aux percentiles 99,8 horaires en NO₂, on constate que les écarts peuvent être importants. Le **tableau 33** montre que les QD calculés sont alors inférieurs à 1, notamment pour l'« état initial modélisé » qui avait mis en exergue un dépassement de la valeur empirique de 1. On assiste à une diminution d'un facteur 1,3 du QD.

Tableau 33 : Présentation des CMH (égales aux CMI) et des QD pour les expositions aiguës au NO₂ calculées sur la base des percentiles 99,8 sur le PS18

	Etat initial mesuré	Etat initial modélisé	2020 « fil de l'eau » modélisé	2020 2*3 voies modélisé
CMH	63,3	156,0	154,0	154,0
QD	0,32	0,78	0,77	0,77

Cela signifie clairement que le risque de dépassements du seuil critique de 1 sur le PS18 est extrêmement faible.

6.7.2.3. Niveau de pollution de fond

Pour les situations « 2020 fil de l'eau » et « 2020 2x3 voies », le niveau de pollution de fond pris en compte, dans la modélisation de la dispersion du NO₂ et dans le calcul des concentrations en particules diesel, est le niveau mesuré respectivement en 2005 et en 2010 au niveau de la station AIRAQ de Talence. Or, il est probable qu'en 2020, les concentrations en polluants dans l'air seront inférieures à celles observées aujourd'hui en raison des réglementations applicables à la qualité de l'air ambiant et aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et aux exigences successives des normes environnementales européennes.

C'est ainsi que l'introduction du pot catalytique à partir de 1993 et 1997 a permis d'accélérer les réductions des émissions des polluants : entre 1990 et 2007, les émissions de ces polluants ont été réduites de 38 % pour les NOx pendant que les émissions de PM_{2,5} représentatives des particules diesel ont baissé de 32 %. Cette diminution devrait se poursuivre avec l'apparition des filtres à particules équipant progressivement certains modèles de véhicules et l'application des normes EURO V.

6.7.3. Facteurs d'effets inconnus sur l'estimation du risque

6.7.3.1. Choix des VTR

Le choix d'une VTR pour une durée d'exposition aiguë ou chronique, à partir d'études épidémiologiques (principalement en milieu professionnel) ou animales, et présentant des conditions particulières d'exposition (doses administrées, durée et voie d'exposition, etc.) induit un grand nombre d'incertitudes qu'il est difficile de quantifier. Il faut également noter que pour le dioxyde d'azote, seule une valeur guide est disponible. Or, aucune quantification des risques sanitaires n'est possible avec une telle valeur (qui est construite à partir de différents critères : toxicité, faisabilité du respect de la valeur, etc.) : seule une comparaison avec le niveau d'exposition peut être réalisée.

6.7.3.2. Estimation des concentrations

Les concentrations des polluants dans l'air, à la base de l'évaluation des risques sanitaires, sont issues d'une chaîne de modélisation : modèle de trafic, modèle de calcul des émissions à partir des données trafic, modèle de dispersion des émissions en polluants issues du trafic. Les concentrations produites par le modèle de dispersion sont ensuite interpolées par triangulation pour fournir un maillage, avec des concentrations constantes à l'intérieur de chaque maille. Par définition, la modélisation simplifie les phénomènes et génère des incertitudes. Cependant, compte tenu de la qualité des données d'entrée et de la prise en compte par le modèle de phénomènes complexes (effets de la topographie, etc.), on peut raisonnablement penser que les incertitudes liées à la modélisation sont faibles. Le modèle a par ailleurs fait l'objet d'un « calage » préliminaire, montrant la bonne adéquation entre le modèle et les mesures (source : étude Cap Environnement). En effet, un calage préliminaire du modèle de dispersion a été réalisé en comparant les concentrations simulées aux mesures réalisées dans la bande d'étude de 1 km au cours des campagnes de septembre 2006 et de janvier – février 2007. La comparaison des résultats du modèle aux valeurs mesurées a permis dans un premier temps d'ajuster les paramètres du modèle (principe de calage) afin d'obtenir de meilleurs résultats, et dans un deuxième temps de valider le modèle sur la zone. Le calage a principalement porté sur l'ajustement des paramètres de dispersion du modèle (caractérisation de la turbulence atmosphérique).

6.7.3.3. Stratégie adoptée dans l'évaluation des risques sanitaires

Dans l'évaluation des risques sanitaires, les stratégies actuelles sont marquées par une vision « uni-polluant » au même titre que la démarche normative et l'approche métrologique. Or, si les polluants sont souvent des composés simples (NO₂, SO₂, Pb, benzène), d'autres sont des mélanges composites (PM par exemple) ou des indicateurs de mélanges complexes (NO₂ pour NOx par exemple). De même, on ne peut effectivement exclure la possibilité d'interactions entre les effets toxiques lors d'expositions simultanées à plusieurs substances. Ces interactions peuvent être antagonistes ou synergiques.

Les connaissances sanitaires reposent, le plus souvent, sur l'approche épidémiologique. Par définition, les effets constatés par cette discipline d'observation correspondent à une exposition multi-polluant, qui dépasse d'ailleurs la seule exposition à la pollution atmosphérique. Par conséquent, les effets constatés aux échelles collectives ou individuelles relèvent, par essence même, d'une approche multi-polluant / multi-exposition, en décalage avec l'évaluation des risques sanitaires.

6.7.3.4. Scénario d'exposition

Pour la voie d'exposition par inhalation, deux scénarii d'exposition résidentielle, représentatifs de l'exposition des habitants ou des résidents de la maison de retraite, ont été retenus. Ils ont été établis sur la base des observations menées en 2010. Ces scénarii sont définis par des paramètres d'exposition qui sont considérés comme identiques jusqu'en 2020. En fonction de l'évolution des comportements des individus présents sur chaque point d'exposition, les durées et les fréquences d'exposition pourront évoluer notamment en raison de préoccupations professionnelles différentes ou de déménagement.

6.7.3.5. Choix des points de mesures

Conformément au cahier des charges, l'étude a été réalisée sur des points d'exposition sélectionnés en fonction des résultats de la modélisation présentés dans l'étude de Cap Environnement. Les mesures ont été menées sur les points sur lesquels les concentrations maximales avaient été modélisées à la situation actuelle. Les calculs présentés sont donc théoriquement représentatifs des niveaux de risque maximaux de la bande d'étude. On ne peut toutefois écarter la possibilité de l'existence ou de l'apparition de niveaux supérieurs à l'état initial ou à l'horizon de référence, notamment en raison de :

- la création d'autres points d'exposition à l'horizon 2020 dans la bande d'étude dans des contextes favorisant l'exposition de la population ;
- l'existence d'un ou de scénarii d'exposition maximisant l'exposition ;
- la non prise en compte dans l'étude de dispersion des configurations topographiques de la rocade (en déblai ou remblai) et de chaque point d'exposition et de la présence d'obstacles diminuant l'impact des émissions routières (écrans anti-bruit, tranchée couverte, bâtiments...).

Ainsi, sur ce dernier point, il est utile de préciser la configuration rencontrée sur les trois points de mesures. Les photos présentées à l'**annexe A-2** et les **figures 28 à 30** permettent d'apporter les éléments visuels nécessaires :

- **PS18** : le point de mesure est situé à 37 mètres de la bande d'arrêt d'urgence (BAU) de la rocade. Il est séparé de la rocade par des haies arbustives. La rocade est située au même niveau NGF que le point de mesure ;

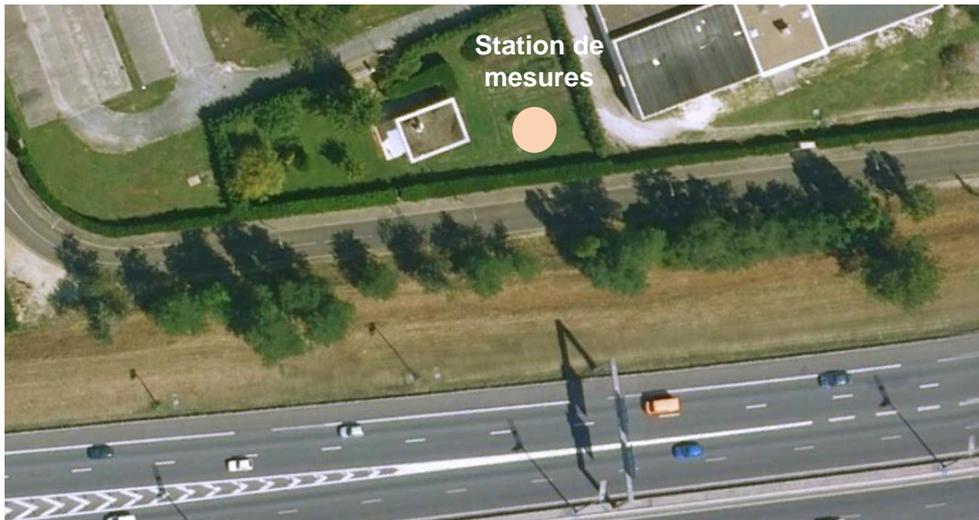


Figure 28 : Localisation de la station de mesures PS18 de la qualité de l'air par rapport à la rocade ouest de Bordeaux

- **PS38** : le point de mesure est situé à 73 mètres de la BAU de la rocade. Il est notamment séparé de la rocade par des bâtiments à usage professionnel. La rocade est située au même niveau NGF que le point de mesure ;



Figure 29 : Localisation de la station de mesures PS38 de la qualité de l'air par rapport à la rocade ouest de Bordeaux

- **PS101** : le point de mesure est situé à 11 mètres de la BAU de la rocade. Il est notamment séparé de la rocade par un talus (défriché au moment des mesures de la qualité de l'air). La rocade est en déblai par rapport à la station de mesure.



Figure 30 : Localisation de la station de mesures PS101 de la qualité de l'air par rapport à la rocade ouest de Bordeaux

6.7.3.6. Définition de la partition CrVI/CrIII

Dans le cas du chrome, on a considéré dans cette étude que le chrome VI représentait 10 % du chrome total sur la base d'une étude bibliographique²⁷. Sur la base des hypothèses formulées dans l'évaluation des risques sanitaires, tous les ERI seraient inférieurs à 10^{-5} dès que le chrome VI représente moins de 6,3 % du chrome total.

6.7.3.7. Conditions météorologiques

Les concentrations en PM_{2,5} et en dioxyde d'azote nécessaires aux calculs des risques sanitaires identifiés pour la situation actuelle «état initial mesuré », sont issues des campagnes de mesures de la qualité de l'air conduites en 2010. Ces campagnes ont été menées dans des conditions météorologiques qui ont mis en exergue des composantes de vents majoritaires (nord-est, ouest-sud-ouest et sud-est). Toutefois, si l'on considère les normales saisonnières basées sur les dix dernières années de mesures Météo France, les composantes du nord-est et du sud-est sont plus développées et la composante ouest est moins marquée, ce qui se traduit par :

- une exposition plus faible de la station 18 en hiver et plus importante en été ;
- une exposition des stations 38 et 101 conforme aux normales saisonnières en hiver ;
- une exposition des stations 38 et 101 plus faible en été.

Or, le vent est un paramètre déterminant pour comprendre l'état de la pollution atmosphérique sur une zone. Il peut, selon sa force et sa direction, modifier la façon dont les polluants se répartissent sur l'ensemble de la zone étudiée. Les mesures ne sont donc globalement pas caractéristiques d'une exposition moyenne représentative de conditions météorologiques moyennes.

6.7.3.8. Les concentrations de fond en chrome

La concentration de fond en chrome est issue des campagnes de mesures menées par Cap Environnement pendant huit semaines en 2006 et 2007. La concentration a été mesurée sur une balise implantée dans l'emprise du groupe scolaire Dargelès comprenant une école primaire et une crèche. Ce site est implanté à environ 350 mètres à l'ouest de l'échangeur 13. Les mesures qui y ont été réalisées permettaient de déterminer le fond urbain à l'ouest de la rocade, secteur non renseigné par les mesures en continu du réseau de surveillance local AIRAQ. Cette concentration de fond n'est

donc pas représentative de la même aire géographique que les concentrations en dioxyde d'azote et en PM_{2,5} choisies sur la station AIRAQ de Talence (à l'est de la rocade) et n'est qu'une moyenne annuelle indicative qui a tendance à surestimer la moyenne annuelle (contrairement aux moyennes annuelles du dioxyde d'azote et des PM_{2,5} mesurées de façon continue).

6.7.3.9. Comparaison aux données AIRAQ

En charge de la surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine, AIRAQ a mené des campagnes de mesures ponctuelles aux abords de la rocade (à moins de 5 mètres) à la demande de la direction interdépartementale des routes Atlantique (DIRA) entre 2007 et 2010. Pour réaliser cette étude, un laboratoire mobile a été installé à proximité immédiate de la rocade, entre les échangeurs 14 et 15. Ce laboratoire permettait de mesurer notamment les oxydes d'azote en continu. Les mesures réalisées à l'été 2009 et à l'hiver 2010 ont mis en évidence une concentration maximale horaire de 211 µg/m³ le 23 mars 2010 et une moyenne annuelle de 55,4 µg/m³.

Les mesures réalisées par le laboratoire LECES sur le point 18 (à environ 40 mètres de la rocade) ont fourni des valeurs plus faibles, marquées par une moyenne annuelle de 21,5 µg/m³ et une concentration maximale horaire de 95 µg/m³. Cela montre que l'effet de la distance à la rocade a une forte influence sur les résultats obtenus. La localisation du point de mesure peut être une source d'incertitude pour l'évaluation des risques sanitaires.

7. LA REEVALUATION DE L'EXPOSITION PAR INGESTION

7.1. Description des voies d'exposition

Dans le cas concret de l'ingestion de cultures à vocation alimentaire, l'homme peut être exposé aux polluants via l'alimentation d'origine végétale ou l'ingestion d'aliments d'origine animale après contamination initiale des végétaux par déposition ou adsorption des polluants au niveau des parties aériennes ou leur absorption par les racines ou les micro-fissures de la cuticule des feuilles.

La typologie des points d'exposition potentiels, directs ou indirects, par ingestion de denrées à vocation alimentaire, a été dressée dans le **tableau 15** (§ 5.2.1). Dans ce volet de l'étude santé, le dépôt atmosphérique de polluants sur les sols et les cultures de légumes a été retenu.

En tenant compte du contexte local, du recensement des points d'exposition liés à la présence de certains média d'exposition dans la bande d'étude de la rocade et de la plausibilité du risque d'exposition lié à chacun, les voies potentielles d'exposition retenues sont :

- l'ingestion directe de sol contaminé par les dépôts de particules atmosphériques ;
- l'ingestion indirecte de produits végétaux cultivés dans la bande d'étude, particulièrement de légumes produits dans les jardins particuliers.

Cette dernière voie d'exposition résulte du transfert des contaminants (bioaccumulation et bioamplification) *via* la chaîne alimentaire.

7.2. Scenarii d'exposition

7.2.1. Types d'exposition

L'évaluation des risques sanitaires par ingestion est réalisée pour la situation médiane rencontrée sur les points d'exposition.

Aussi, pour la voie d'exposition par ingestion, on retiendra plusieurs scenarii d'exposition résidentielle, représentatifs de l'exposition des habitants.

- Le **scénario A** considère qu'un individu est exposé aux polluants lors de l'ingestion de légumes cultivés (100 % d'autoconsommation), l'ingestion de sol de potager et lors de l'ingestion de produits manufacturés achetés (viandes, volailles, œufs et dérivés, produits laitiers, poissons, céréales, pommes de terre) : il constitue le scénario majorant ;
- Le **scénario B** considère l'exposition d'un individu lors de l'ingestion de sol dans des écoles maternelles et primaires ou dans les aires récréatives.

7.2.2. Paramètres d'exposition

La fréquence d'exposition (paramètre F) retenue pour la voie d'exposition orale, pour le scénario A, est la même que celle considérée pour la voie d'exposition respiratoire dans le cadre du scénario 2 : on considère dans ce scénario A que la fréquence d'exposition F est égale à 0,929.

Pour le scénario B, on considère qu'un enfant est présent en moyenne 180 jours / an à l'école. La fréquence d'exposition F est prise égale à $180 / 365 = 0,493$ pour le scénario B.

Pour la voie d'exposition par ingestion, dans le cas du scénario A, on considère la même durée d'exposition (paramètre DE) que pour la voie d'exposition par inhalation. La durée d'exposition est

prise égale à 30 ans. Pour le scénario B, on considère que l'enfant fera sa scolarité au droit des écoles entre 2 et 12 ans (ce qui correspond à deux classes d'âge identifiés dans CIBLEX, voir ci-après).

7.2.3. Cibles retenues

Dans les scénarii d'exposition de la présente étude, on considère six classes d'âge (il s'agit des classes d'âge pour lesquelles, CIBLEX fournit des données de consommation humaine et de masse corporelle) :

- les enfants âgés de 1 à 2 ans ;
- les enfants âgés de 2 à 7 ans ;
- les enfants âgés de 7 à 12 ans ;
- les mineurs âgés de 12 à 17 ans ;
- les adultes âgés de 17 à 60 ans ;
- les adultes âgés de plus de 61 ans.

En ce qui concerne les populations exposées, il faut distinguer les cas « effet avec seuil » et « effet sans seuil ».

Pour l'effet avec seuil (effet non cancérigène), on distinguera l'exposition des enfants ou des adultes résidant dans la bande d'étude. Le comportement des enfants (3-15 ans) est en effet différent de celui des adultes. Etant donné leur plus faible poids corporel, ils sont généralement soumis à une dose journalière d'exposition plus importante que celle d'un adulte pour un même niveau d'exposition. Enfin, des voies d'expositions comme l'ingestion directe de sols sont typiques des enfants et viennent se rajouter aux voies de transfert plus classiques. Pour le calcul, on considèrera les différentes classes d'âge avec différents poids corporels associés afin de mettre en évidence la classe d'âge subissant l'exposition la plus élevée.

Pour l'effet sans seuil (effet cancérigène), deux cas de figure sont considérés :

- dans le cas du scénario A, on considère un individu passant 30 ans sur le point d'exposition dès l'âge de 1 ans, c'est-à-dire de sa 1^{ère} à sa 31^e année. Pour les 16 premières années, on utilisera les données moyennes « enfants de 1 à 17 ans » (pondérées en fonction de l'étendue de chaque classe d'âge) et pour les 14 années suivantes, on utilisera les données correspondant aux adultes (entre 17 et 31 ans) ;
- dans le cas du scénario B, on considère un individu passant 10 ans sur le point d'exposition dès l'âge de 2 ans, c'est-à-dire de sa 2^e à 12^e année.

7.3. Outils de détermination des concentrations

Pour déterminer les concentrations dans les différents milieux concernés par l'étude et aux différents horizons d'étude, la métrologie a été associée à la modélisation, ces deux techniques étant complémentaires. La métrologie a permis de caractériser l'état initial, c'est-à-dire les concentrations en polluants déjà présentes dans les différents compartiments environnementaux, alors que la modélisation permet d'estimer les transferts des polluants apportés par la rocade dans ces différents compartiments aux horizons futurs 2020. Dans ce dernier cas, l'estimation de l'exposition s'effectue en deux étapes. La première consiste à utiliser le dépôt surfacique du polluant concerné dans la bande d'étude. Celui-ci est ensuite utilisé en seconde étape pour estimer, à l'aide d'un logiciel d'évaluation du risque lié à la pollution des sols, les concentrations par transfert dans les aliments végétaux consommés par la population.

Les concentrations estimées après modélisation des transferts de polluants dans la chaîne alimentaire ont été calculées par Numtech avec le logiciel ADMS pour les horizons futurs. Le dépôt surfacique a été estimé sur tous les points sensibles répertoriés dans leur étude (exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$). Cette donnée sera utilisée comme donnée d'entrée du modèle HHRAP²⁴ afin d'estimer l'apport par la chaîne alimentaire. On suppose que la masse totale de substance se répartit de façon homogène sur l'aire totale de culture.

7.4. Données utilisées

7.4.1. Données sur la qualité des sols

La contamination initiale des sols est prise en compte afin d'évaluer les concentrations attendues dans les sols à l'horizon de référence 2020 et les expositions attendues pour les différents états d'exposition. Dans cette étude, ce sont les médianes obtenues sur les différents contextes d'exposition qui sont utilisées :

- la concentration médiane représentative des sols remaniés (prélevés dans les jardins potagers) est utilisée pour évaluer les expositions des populations liées à l'ingestion de légumes cultivés sur des sols présents à proximité de la rocade ou situés en zone de fond ;
- la concentration médiane caractéristique des sols non remaniés (prélevés dans les écoles ou sur les stades) est utilisée pour évaluer les expositions des populations liées à l'ingestion de sol de surface présent à proximité de la rocade ou situé en zone de fond.

Pour le calcul des médianes, on considère que les concentrations inférieures à la limite de quantification sont égales à la moitié de la valeur de cette limite. Elles sont présentées dans le **tableau 34** ci-après.

Tableau 34 : Présentation des médianes retenues dans les sols pour l'évaluation des risques sanitaires (en mg/kg de MS)

Typologie de la station	Nature du sol prélevé	As	Ba	Cd	Hg
Proximité routière	Remanié	6,8	115,9	0,38	0,10
	Non Remanié	5,9	37,1	0,10	0,10
Bruit de fond	Remanié	6,5	66,5	0,40	0,10
	Non Remanié	5,5	32,5	0,18	0,10

7.4.2. Données sur la qualité des végétaux

Les données présentées ci-après correspondent aux résultats obtenus sur les légumes préparés selon les pratiques courantes de consommation (partie comestible retenue et lavage succinct des végétaux). Les résultats sont présentés pour les salades, les tomates et les radis pour lesquels il existe des données sur les rations alimentaires journalières. Les données relatives aux poireaux, très peu nombreuses dans cette étude, ne sont pas utilisées car ce légume est difficilement identifiable à une donnée de consommation alimentaire.

Comme pour les sols, les concentrations médianes ont été utilisées dans le calcul de l'exposition des populations. Elles sont présentées dans le **tableau 35** ci-après.

²⁴ (Human Health Risk Assessment Protocol), fournie sur le site de l'US EPA (www.epa.gov). La méthodologie HHRAP a été développée par l'Office of Solid Waste (appartenant à l'US EPA) en 1998 dans le but d'aider à évaluer les risques liés aux émissions d'incinérateurs de déchets dangereux. Cette méthodologie fournit des équations et des données permettant de modéliser les transferts des polluants dans l'environnement et les produits d'exposition. La version 2005 de la méthode est disponible sur le lien suivant : <http://www.epa.gov/osw/hazard/tsd/td/combust/risk.htm#hhrad>

Comme précédemment, pour le calcul des médianes, on considère que les concentrations inférieures à la limite de quantification sont égales à la moitié de la valeur de cette limite.

Tableau 35 : Présentation des médianes retenues dans les légumes pour l'évaluation des risques sanitaires (en mg/kg de MF)

Typologie de la station	Type de légume	Teneur moyenne en eau (%)	As	Ba	Cd	Hg
Proximité routière	Salades	93,1	0,005	0,351	0,013	0,001
	Tomates	91,7	0,001	0,049	0,006	0,001
	Radis	93,4	0,0105	0,7295	0,0065	0,001
Bruit de fond	Salades	91,2	0,0095	0,532	0,0275	0,001
	Tomates	91,2	0,00125	0,0465	0,00675	0,001
	Radis	93,4	0,006	0,829	0,0045	0,00075

7.4.3. Données sur la qualité de l'air

Ces données interviennent dans l'estimation des concentrations dans les végétaux. Elles sont issues des campagnes de mesures réalisées par Cap Environnement sur la station automatique B2 mise en place pour mesurer les concentrations des polluants en fond urbain à l'ouest de la rocade à Pessac.

Tableau 36 : Concentrations moyennes annuelles observées par Cap Environnement sur la station B2 (ng/m³) (résultats présentés dans le chapitre IX « Synthèse des mesures effectuées en saison chaude et en saison froide).

As	Ba	Cd	Hg
0,67	3,21	0,17	0,22

7.4.4. Dépôts des polluants

Cette étude est fondée sur les estimations des émissions des véhicules en 2020 en intégrant les deux sens de circulation. Seules les émissions atmosphériques liées à la combustion dans les moteurs de véhicules et à l'usure des véhicules (freins, pneus) ont été prises en compte selon les recommandations de la note méthodologique de février 2005. Les émissions relatives à l'usure de l'infrastructure (revêtement, barrières de sécurité) et à l'entretien de la route font également partie de cet inventaire. Ces simulations ont été réalisées par la société Numtech selon le modèle COPPERT III.

Le logiciel ADMS-Roads modélise ensuite la dispersion des polluants dans l'atmosphère en utilisant les données météorologiques. Un module du logiciel ADMS fournit ensuite des résultats de dépôts en appliquant des vitesses de déposition. Les résultats ont été présentés dans les annexes 82 à 93 du rapport Cap Environnement / Numtech / KTT-iMa. Il porte sur les 148 sites sensibles répertoriés dans l'étude. Ils sont exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$

L'étude de la qualité des sols et/ou des végétaux a été menée sur certains points d'exposition cités dans l'étude de Cap Environnement ou à proximité immédiate. Cela concerne les points 18, 19, 43, 45, 73, 84, 93, 95, 101, 118, 122, 124, 130, 158, 160 et 161. D'autres points n'ont pas été référencés dans la liste de Cap Environnement : il s'agit des points 149, 151, 152, 154, 156 et 157.

Pour le calcul de l'exposition, BioMonitor a initié une démarche en quatre étapes :

- **étape 1** : retenue des dépôts simulés sur les points 18, 19, 43, 45, 73, 84, 93, 95, 101, 118, 122, 124, 130, 158, 160 et 161 ;
- **étape 2** : retenue des dépôts qui ont été simulés sur les points d'exposition les plus proches des points 149, 151, 152, 154, 156 et 157 ;
- **étape 3** : calcul de la médiane des dépôts atmosphériques relevée sur les points de proximité automobile ;
- **étape 4** : calcul de la médiane des dépôts atmosphériques relevée sur les points de fond.

L'ensemble des résultats utilisés est consigné dans les **tableaux 37 à 40**.

Tableau 37 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$) – contribution de la rocade pour la situation « 2020 fil de l'eau ». Valeurs utilisées dans le cadre du scénario A

Typologie de la station	Points d'exposition BioMonitor	Points d'exposition Cap Environnement	Distance séparant les points (m)	Dépôts moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)			
				As	Ba	Cd	Hg
Proximité routière	PS95	PS95	54	$4,54.10^{-7}$	$1,11.10^{-6}$	$1,48.10^{-7}$	$9,07.10^{-8}$
	PS118	PS118	19	$3,90.10^{-7}$	$8,82.10^{-7}$	$1,36.10^{-7}$	$7,80.10^{-8}$
	PS151	PS120	177	$2,97.10^{-7}$	$6,89.10^{-7}$	$1,04.10^{-7}$	$5,93.10^{-8}$
	PS122	PS122	0	$3,05.10^{-7}$	$9,08.10^{-7}$	$9,81.10^{-8}$	$6,10.10^{-8}$
	PS124	PS125	47	$5,74.10^{-7}$	$2,99.10^{-6}$	$1,81.10^{-7}$	$1,15.10^{-7}$
	PS101	PS101	81	$6,43.10^{-7}$	$1,63.10^{-6}$	$2,66.10^{-7}$	$1,28.10^{-7}$
	PS157	PS128	64	$3,74.10^{-7}$	$9,33.10^{-7}$	$1,47.10^{-7}$	$7,47.10^{-8}$
	Médiane			$3,90.10^{-7}$	$9,33.10^{-7}$	$1,47.10^{-7}$	$7,80.10^{-8}$
Bruit de fond	PS149	PS12	322	$1,36.10^{-7}$	$6,86.10^{-7}$	$3,16.10^{-8}$	$2,72.10^{-8}$
	PS152	Pas de correspondance		-	-	-	-
	PS154	PS59	359	$2,53.10^{-7}$	$1,37.10^{-6}$	$6,57.10^{-8}$	$5,06.10^{-8}$
	PS156	PS65	55	$9,42.10^{-8}$	$3,16.10^{-7}$	$3,01.10^{-8}$	$1,88.10^{-8}$
		Médiane			$1,36.10^{-7}$	$6,86.10^{-7}$	$1,36.10^{-7}$

Tableau 38 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$) – contribution de la rocade pour la situation « 2020 2*3 voies ». Valeurs utilisées dans le cadre du scénario A

Typologie de la station	Points d'exposition BioMonitor	Points d'exposition Cap Environnement	Distance séparant les points (m)	Dépôts moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)			
				As	Ba	Cd	Hg
Proximité routière	PS95	PS95	54	$4,56.10^{-7}$	$1,24.10^{-6}$	$1,69.10^{-7}$	$9,11.10^{-8}$
	PS118	PS118	19	$3,95.10^{-7}$	$1,00.10^{-6}$	$1,57.10^{-7}$	$7,89.10^{-8}$
	PS151	PS120	177	$2,98.10^{-7}$	$7,86.10^{-7}$	$1,19.10^{-7}$	$5,95.10^{-8}$
	PS122	PS122	0	$3,04.10^{-7}$	$9,86.10^{-7}$	$1,11.10^{-7}$	$6,08.10^{-8}$
	PS124	PS125	47	$5,73.10^{-7}$	$3,26.10^{-6}$	$2,02.10^{-7}$	$1,15.10^{-7}$
	PS101	PS101	81	$6,68.10^{-7}$	$1,92.10^{-6}$	$3,05.10^{-7}$	$1,34.10^{-7}$
	PS157	PS128	64	$3,73.10^{-7}$	$1,06.10^{-6}$	$1,64.10^{-7}$	$7,46.10^{-8}$
	Médiane			$3,95.10^{-7}$	$1,06.10^{-6}$	$1,64.10^{-7}$	$7,89.10^{-8}$
Bruit de fond	PS149	PS12	322	$1,36.10^{-7}$	$6,14.10^{-7}$	$3,16.10^{-8}$	$2,72.10^{-8}$
	PS152	Pas de correspondance		-	-	-	-
	PS154	PS59	359	$2,53.10^{-7}$	$1,41.10^{-6}$	$6,85.10^{-8}$	$5,07.10^{-8}$
	PS156	PS65	55	$9,38.10^{-8}$	$3,39.10^{-7}$	$3,27.10^{-8}$	$1,88.10^{-8}$
		Médiane			$1,36.10^{-7}$	$6,14.10^{-7}$	$3,27.10^{-8}$

Tableau 39 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$) – contribution de la rocade pour la situation « 2020 fil de l'eau ». Valeurs utilisées dans le cadre du scénario B

Typologie de la station	Points d'exposition BioMonitor	Points d'exposition Cap Environnement	Distance séparant les points (m)	Dépôts moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)			
				As	Ba	Cd	Hg
Proximité routière	PS93	PS93	0	$6,03.10^{-7}$	$7,82.10^{-7}$	$1,23.10^{-7}$	$1,20.10^{-7}$
	PS18	PS18	0	$6,88.10^{-7}$	$8,92.10^{-7}$	$1,65.10^{-7}$	$1,37.10^{-7}$
	PS160	PS25	0	$2,77.10^{-7}$	$6,90.10^{-7}$	$8,35.10^{-8}$	$5,54.10^{-8}$
	PS158	PS27	0	$3,12.10^{-7}$	$6,89.10^{-7}$	$1,08.10^{-7}$	$6,23.10^{-8}$
	PS45	PS45	0	$4,66.10^{-7}$	$3,67.10^{-6}$	$1,48.10^{-7}$	$9,32.10^{-8}$
	PS73	PS73	0	$1,89.10^{-7}$	$6,44.10^{-7}$	$6,10.10^{-8}$	$3,78.10^{-8}$
	PS84	PS84	0	$3,81.10^{-7}$	$8,85.10^{-7}$	$1,07.10^{-7}$	$7,61.10^{-8}$
	Médiane			$3,81.10^{-7}$	$7,82.10^{-7}$	$1,08.10^{-7}$	$7,61.10^{-8}$
Bruit de fond	PS19	PS19	0	$1,14.10^{-7}$	$3,78.10^{-7}$	$2,95.10^{-8}$	$2,28.10^{-8}$
	PS43	PS43	0	$6,25.10^{-8}$	$2,54.10^{-7}$	$1,87.10^{-8}$	$1,25.10^{-8}$
	PS161	PS35	0	$1,61.10^{-7}$	$8,02.10^{-7}$	$5,23.10^{-8}$	$3,21.10^{-8}$
	PS130	PS130	0	$1,66.10^{-7}$	$5,68.10^{-7}$	$3,87.10^{-8}$	$3,32.10^{-8}$
		Médiane			$1,38.10^{-7}$	$4,73.10^{-7}$	$3,41.10^{-8}$

Tableau 40 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$) – contribution de la rocade pour la situation « 2020 2*3 voies ». Valeurs utilisées dans le cadre du scénario B

Typologie de la station	Points d'exposition BioMonitor	Points d'exposition Cap Environnement	Distance séparant les points (m)	Dépôts moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)			
				As	Ba	Cd	Hg
Proximité routière	PS93	PS93	0	$6,00.10^{-7}$	$8,34.10^{-7}$	$1,33.10^{-7}$	$1,20.10^{-7}$
	PS18	PS18	0	$6,86.10^{-7}$	$9,15.10^{-7}$	$1,69.10^{-7}$	$1,37.10^{-7}$
	PS160	PS25	0	$2,74.10^{-7}$	$7,15.10^{-7}$	$9,39.10^{-8}$	$5,47.10^{-8}$
	PS158	PS27	0	$3,11.10^{-7}$	$7,81.10^{-7}$	$1,24.10^{-7}$	$6,21.10^{-8}$
	PS45	PS45	0	$4,69.10^{-7}$	$3,48.10^{-6}$	$1,46.10^{-7}$	$9,37.10^{-8}$
	PS73	PS73	0	$1,85.10^{-7}$	$6,88.10^{-7}$	$6,69.10^{-8}$	$3,71.10^{-8}$
	PS84	PS84	0	$3,79.10^{-7}$	$9,78.10^{-7}$	$1,22.10^{-7}$	$7,58.10^{-8}$
	Médiane			$3,79.10^{-7}$	$8,34.10^{-7}$	$1,24.10^{-7}$	$7,58.10^{-8}$
Bruit de fond	PS19	PS19	0	$1,15.10^{-7}$	$3,98.10^{-7}$	$3,13.10^{-8}$	$2,30.10^{-8}$
	PS43	PS43	0	$6,32.10^{-8}$	$2,71.10^{-7}$	$2,07.10^{-8}$	$1,26.10^{-8}$
	PS161	PS35	0	$1,59.10^{-7}$	$8,31.10^{-7}$	$5,61.10^{-8}$	$3,18.10^{-8}$
	PS130	PS130	0	$1,67.10^{-7}$	$5,86.10^{-7}$	$4,10.10^{-8}$	$3,34.10^{-8}$
		Médiane			$1,37.10^{-7}$	$4,92.10^{-7}$	$3,62.10^{-8}$

7.4.5. Les habitudes alimentaires

Le calcul du risque sanitaire est effectué en se plaçant dans des conditions constatées *in situ* : on suppose que les riverains exposés ne mangent que des légumes cultivés sur place (**approche locale**). Pour les autres aliments (viandes, lait, œufs), on considère qu'ils ne sont pas produits localement mais achetés. Le risque attribuable est donc lié pour partie à celui relatif à la consommation de produits locaux et pour partie à celui relatif à la consommation de produits manufacturés.

Les quantités d'aliments consommées par chaque classe d'âge et prises en compte dans la présente évaluation des risques sanitaires (ERS) sont celles indiquées dans la base de données CIBLEX (ADEME/IRSN, 2003) pour les communes « de plus de 100 000 habitants » du département de la Gironde. Elle fournit des informations pour plusieurs classes d'âge : 2 à 7 ans, 7 à 12 ans, 12 à 17 ans et plus de 17 ans.

Pour les classes d'âges inférieures à 2 ans, des données de consommation alimentaire et de masse corporelle sont disponibles dans l'enquête INCA [AFSSA/CRÉDOC/DGAL, 1999]. Cette enquête réalisée en 1998 a recueilli toutes les prises alimentaires des individus pendant une semaine entière. Les données de consommation alimentaire ont été obtenues à partir de carnets de consommation, renseignés sur une période de 7 jours consécutifs. L'enquête a été réalisée auprès de 3003 individus, enfants et adultes, représentatifs de la population française métropolitaine. La représentativité nationale a été assurée par stratification (âge, sexe, profession et catégorie socio-professionnelle individuelle et taille du ménage).

NB : Les données présentées dans l'enquête INCA 2 (2006-2007)²⁵ ne sont pas utilisées car cette étude :

- ne présente pas de données de consommation pour les enfants de moins de 3 ans ;
- ne donne pas de données de consommation par type de légumes mais uniquement pour la catégorie « Légumes » ;
- ne donne pas les masses corporelles pour la population française métropolitaine pour les mêmes classes d'âge que pour les données de consommation alimentaire.

Les données de consommation alimentaire retenues sont présentées dans l'**annexe A-8**.

Pour évaluer l'exposition des légumes cultivés localement, il s'agit de fixer les quantités consommées pour les trois grandes catégories de légumes suivies dans cette étude, à savoir les légumes-racines (radis), les légumes-fruits (tomates) et les légumes-feuilles (salades). On considérera qu'ils sont représentatifs de la consommation globale de légumes. Les fruits sont apparentés aux légumes-fruits.

7.4.6. Paramètres relatifs aux cibles humaines

La base de données CIBLEX fournit des données récentes de masse corporelle établies pour la population française métropolitaine, pour les mêmes classes d'âge que pour les données de consommation alimentaire. Dans la présente étude, nous retenons la moyenne hommes-femmes des masses corporelles indiquées par classe d'âge.

Les quantités de polluants ingérés sont rapportées au poids de l'homme. Les valeurs des poids corporels utilisées sont celles proposées par l'INERIS²⁶. Dans son « Exposure factors handbook », l'US EPA fournit des valeurs de recommandations quant aux quantités moyennes de sol ingérées par les adultes et les enfants. Toutes ces données sont présentées dans le **tableau 41**.

²⁵ AFSSA, Septembre 2009, Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2 (INCA 2), 2006-2007.

²⁶ INERIS, 2003, Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une Grande Installation de Combustion, Partie II : Exposition par voies indirectes, DRC-03-45956/ERSA-n°92-RBn-/GT-GICversion4.doc.

Tableau 41 : Paramètres relatifs aux cibles humaines

Age	Enfants			Adultes		
	1 à 2 ans	2 à 7 ans	7 à 12 ans	12 à 17 ans	17 à 60 ans	Plus de 61 ans
Quantité de sol ingérée (mg/j)	150	150	50	50	50	50
Poids corporel (kg)	10,8	17,2	30,6	51,7	62,5	62,5

7.4.7. Paramètres sources du modèle HHRAP

Le logiciel HHRAP fournit des données par défaut aussi bien sur les caractéristiques physico-chimiques des substances, que sur les données environnementales et d'exposition. Il est toutefois préférable d'ajuster le modèle aux caractéristiques du site, ainsi que de modifier les paramètres des substances lorsque de meilleures données sont disponibles.

7.4.7.1. Paramètres du sol

Les données locales ont été privilégiées lorsqu'elles étaient disponibles. Dans le cas contraire, les propriétés physico-chimiques du sol sont reprises de la méthode de calcul des valeurs de constat d'impact dans les sols de l'INERIS²⁷, des valeurs proposées dans le modèle HHRAP, CALTOX²⁸ ou dans une étude menée sur l'incinérateur d'Angers²⁹.

7.4.7.2. Paramètres relatifs aux végétaux

Ils sont issus des résultats de la caractérisation de l'état initial, de la documentation de la méthode HHRAP et de CALTOX.

7.4.7.3. Données physico-chimiques des polluants

La plupart des informations ont été obtenues à partir des fiches de données toxicologiques et environnementales de l'INERIS, disponibles sur le site de l'INERIS (www.ineris.fr).

Lorsque les informations n'étaient pas disponibles dans les fiches de l'INERIS, elles ont été obtenues d'après la méthodologie HHRAP.

Les coefficients de transfert utilisés pour l'estimation de leurs concentrations dans les légumes sont présentés en **annexe A-9**. Ils ont été choisis à partir d'un calage du modèle HHRAP dont la méthodologie est présentée par la même annexe.

7.5. Estimation des concentrations dans les média

Pour estimer les concentrations en polluants dans les différents media d'exposition retenus dans l'ERS (légumes), la méthodologie « HHRAP » présentée précédemment [US-EPA, 2006] sera utilisée. Cette méthodologie a également été utilisée dans l'étude de Cap Environnement, ce qui permet de garder une cohérence de qualité des données obtenues. L'utilisation de cette méthode est

²⁷ INERIS, novembre 2001, Bonnard, Hulot, Levêque, Méthode de calcul des valeurs de constat d'impact dans les sols, DRC-01-25587/DESP.

²⁸ Logiciel CALTOX, version 2.3. de 1996.

²⁹ CIRE Ouest, 2001, Volet sanitaire de l'usine d'incinération d'ordures ménagères d'Angers.

recommandée dans les rapports de l'INERIS qui comparent les différents modèles multimédias disponibles et adaptés au cas des pollutions de sols par suite de retombées atmosphériques. Le logiciel HHRAP permet l'accès à l'ensemble des équations et des résultats intermédiaires, ce qui va dans le sens de la recherche de transparence, un objectif essentiel de toute étude d'évaluation de risque.

7.5.1. Concentrations dans les sols

Pour déterminer les concentrations dans le sol, le modèle HHRAP propose des systèmes d'équations différents suivant qu'il s'agit de polluants à effets cancérigènes ou de polluants à effets non cancérigènes. La concentration dans le sol est calculée à partir de la résolution d'une équation différentielle de premier degré, prenant en compte les dépôts secs et humides, particulaires et gazeux, à partir de l'air, pendant la période de fonctionnement du site étudié. Les pertes de polluants à partir du sol par les phénomènes de ruissellement, de lixiviation et de dégradation biotique et abiotique sont aussi prises en compte. Des équations sont également présentées pour le calcul des pertes par volatilisation et érosion, mais il est recommandé dans ce guide de considérer ces phénomènes comme nuls.

Deux profondeurs de sol, supposées homogénéisées, sont considérées :

- la couche de sol 0-1 cm (sol non bêché) susceptible d'être « consommée » par les populations des écoles et des aires de jeux ;
- et les 20 premiers cm de sol (sol bêché) qui correspondent à la couche cultivée des jardins potagers dans laquelle se déroulent les phénomènes de transfert sol/plante.

7.5.2. Concentrations dans les végétaux

Compte tenu de différences dans les mécanismes de contamination, les calculs sont effectués différemment pour :

- les organes végétaux aériens (c'est-à-dire les productions végétales dont les organes aériens sont consommés) et comprenant les organes végétaux aériens « exposés » et les organes végétaux aériens « protégés ». Dans le cadre de cette étude, on considère uniquement les organes végétaux aériens exposés (les salades et les tomates) ;
- les organes végétaux racinaires (c'est-à-dire les productions végétales dont les organes racinaires sont consommés), à savoir les radis.

Pour les organes végétaux aériens, il existe trois mécanismes de contamination des végétaux :

- le dépôt direct de particules (dépôt sec et humide de la phase particulaire du polluant sur la surface du végétal) ;
- le transfert par la phase gazeuse (pénétration de la phase vapeur du polluant par absorption foliaire) ;
- l'absorption racinaire (pénétration du polluant depuis le sol et transfert vers les organes aériens).

Pour les **organes végétaux racinaires**, la concentration en polluant dans les organes racinaires est estimée en faisant intervenir la concentration dans le sol et un facteur de bioconcentration du sol vers les organes racinaires.

Les concentrations en polluants dans les aliments provenant de l'extérieur, seront reprises d'une étude de l'INRA³⁰ réalisée sur l'alimentation totale française. Cette étude porte sur des aliments « tels que consommés » par le consommateur. La liste se fonde sur les résultats de l'enquête de consommation individuelle nationale INCA 1. La représentativité de l'échantillonnage a été réalisée en tenant compte des modes d'achat et d'approvisionnement des consommateurs issus du panel des ménages de Secodip³¹. Les informations obtenues portent sur les principaux lieux d'approvisionnements (hypermarché, supermarché, détaillant, marché). Ces concentrations représenteront celles attribuables aux aliments non exposés aux retombées de la rocade. Ces concentrations sont également présentées dans l'**annexe A-8**.

7.6. Détermination des doses journalières d'exposition

7.6.1. Méthodologie

Comme pour les concentrations moyennes inhalées (CMI), les calculs de doses journalières d'exposition (DJE) ont été réalisés pour les 3 situations considérées dans l'ERS :

- à l'état initial ;
- à l'horizon du projet pour la situation de référence (situation 2020 « fil de l'eau ») ;
- à l'horizon du projet pour la situation avec projet en place (situation 2020 « 2x3 voies »).

L'état initial modélisé présenté précédemment pour la voie inhalation n'est pas utilisé en raison des différences méthodologiques mises en œuvre dans les deux études. Ces différences portent notamment sur le choix des matrices échantillonnées.

Pour chacun des agents, l'exposition par ingestion se traduit par une DJE, c'est-à-dire par la concentration du polluant ingéré par l'individu. Le calcul des DJE est basé sur les concentrations en polluants dans les sols et la chaîne alimentaire (voir précédemment) et sur des scénarii majorants de consommation alimentaire, ainsi que sur le poids corporel des cibles. La méthodologie de calcul est donnée ci-après et présentée sur la **figure 31**.

$$DJE_i = (C_i \times Q_j) \times \frac{F}{P} \times \frac{T}{T_m}$$

DJE_i : dose journalière d'exposition (en mg/kg.j) = quantité de polluant i ingérée quotidiennement ramenée à 1 kg de poids corporel

C_i : concentration en polluant i par kg de médium j consommé (mg/kg)

Q_j : quantité de médium j consommé quotidiennement et contaminé par le polluant i (en kg/j)

F : fréquence d'exposition = nombre de jours d'exposition par an / 365 (sans unité) ; F= 0,929 dans le cadre du scénario A et F= 0,493 dans le cadre du scénario B

P : poids corporel de la personne exposée (kg)

T : durée d'exposition

T_m : période de temps (années) sur laquelle l'exposition est moyennée pour les substances cancérigènes, T_m = 70 ans, ce qui correspond à une exposition moyennée sur une vie entière

Pour les toxiques non cancérigènes, le terme T / T_m est neutralisé

Par conséquent :

- pour les substances non cancérigènes : DJE_i = C_i × Q_j × F / P

- pour les substances cancérigènes : DJE_i = 0,429 × C_i × Q_j × F / P dans le cadre du scénario A et 0,143 × C_i × Q_j × F / P dans le cadre du scénario B

Dans notre étude, plusieurs voies sont concernées, il faut alors calculer une DJE totale qui est la somme de l'ensemble des DJE_i.

³⁰ Etude de l'alimentation totale française. Mycotoxines, minéraux et éléments traces. J.-C. Leblanc, coordonnateur. INRA/DGAL, mai 2004, 68 pages.

³¹ Société d'Etudes de la Consommation, de la Distribution et de la Publicité. Panel d'achats des ménages, 1996.

	<u>Scénario A</u>	<u>Scénario B</u>	
Description du scénario	Individu consommant des légumes provenant intégralement de son jardin potager représenté par des salades, des carottes et des radis. Les autres produits manufacturés sont achetés dans le commerce (viandes, lait, œufs,...). Cet individu est également exposé aux polluants lors de l'ingestion de sol de potager	Enfant consommant du sol non remanié lors de sa scolarité	
Fréquence d'exposition (F)	0,929 (absence lié aux congés payés)	0,493 (absence hors périodes scolaires)	
Durée d'exposition (T)	30 ans (de 1 à 31 ans)	10 ans (2 à 12 ans)	
Poids Corporel (P)	Différent en fonction de la classe d'âge (tableau 41)	Différent en fonction de la classe d'âge (tableau 41)	
Pour la situation actuelle	Ci sol x Qj sol	Les concentrations médianes des polluants dans les sols remaniés situés en proximité routière ou en zone de fond (tableau 34) sont multipliées par la quantité de sol ingérée en fonction de la classe d'âge étudiée (tableau 41)	Les concentrations médianes dans les sols non remaniés situés en proximité routière ou en zone de fond (tableau 34) sont multipliées par la quantité de sol ingérée en fonction de la classe d'âge étudiée (tableau 41)
	Ci légumes x Qj légumes	Les concentrations médianes des polluants dans les différents légumes cultivés en proximité routière ou en zone de fond (tableau 35) sont multipliées par les quantités de légumes définies dans le tableau A-2 de l' annexe A-8	
	Ci aliments ext. x Qj aliments ext.	Les concentrations des polluants dans les différents aliments (hors légumes) achetés dans le commerce définies dans le tableau A-1 de l' annexe A-8 (enquête INRA) sont multipliées par les quantités d'aliments définies dans le tableau A-2 de l' annexe A-8	
Pour l'horizon 2020	Ci sol x Qj sol	Les concentrations des polluants dans les sols remaniés sont estimées à partir du modèle HHRAP en proximité routière ou en zone de fond. Le modèle HHRAP est paramétré en fonction de données physico-chimiques des polluants, des paramètres relatifs au sol et à partir des dépôts atmosphériques médians simulés par le modèle ADMS (tableaux 37 et 38). Elles sont ensuite multipliées par la quantité de sol ingérée en fonction de la classe d'âge étudiée (tableau 41)	Les concentrations des polluants dans les sols non remaniés sont estimées à partir du modèle HHRAP en proximité routière ou en zone de fond. Le modèle HHRAP est paramétré en fonction de données physico-chimiques des polluants, des paramètres relatifs au sol et à partir des dépôts atmosphériques médians simulés par le modèle ADMS (tableaux 39 et 40). Elles sont ensuite multipliées par la quantité de sol ingérée en fonction de la classe d'âge étudiée (tableau 41)
	Ci légumes x Qj légumes	Les concentrations des polluants dans les différents légumes sont estimées à partir du modèle HHRAP en proximité routière ou en zone de fond. Le modèle HHRAP est paramétré en fonction de données physico-chimiques des polluants, des paramètres relatifs aux végétaux et à partir des dépôts atmosphériques médians simulés par le modèle ADMS (tableaux 37 et 38). Elles sont ensuite multipliées par les quantités de légumes définies dans le tableau A-2 de l' annexe A-8 .	
	Ci aliments ext. x Qj aliments ext.	Les concentrations des polluants dans les différents aliments (hors légumes) achetés dans le commerce définies dans le tableau A-1 de l' annexe A-8 (enquête INRA) sont multipliées par les quantités d'aliments définies dans le tableau A-2 de l' annexe A-8	

Figure 31 : Description de la méthodologie adoptée pour calculer les doses journalières d'exposition en fonction du scénario

7.6.2. Résultats

7.6.2.1. Cas des expositions chroniques avec effets à seuil

Ce cas concerne l'arsenic, le baryum, le cadmium et le mercure (voir tableau 1, p 17). Les résultats sont présentés dans les **tableaux 42 à 46** :

- les **tableaux 42 et 43** présentent les résultats pour le scénario A. Le premier présente les DJE cumulées (imputables à la rocade et au bruit de fond local) observées à l'état initial et à l'horizon de référence 2020 avec et sans projet. Les DJE calculées sont égales pour ces différentes situations, notamment en raison des DJE attribuables aux aliments achetés à l'extérieur et aux valeurs mesurées initialement dans les sols et les végétaux. Le deuxième présente les DJE imputables aux émissions de la rocade à l'horizon 2020 ;

- les **tableaux 44 et 45** présentent les résultats pour le scénario B. Le premier tableau présente les DJE calculées à partir des résultats de mesures (état initial). Dans le deuxième figurent les DJE imputables aux émissions de la rocade à l'horizon 2020.

7.6.2.2. Cas des expositions chroniques avec effets sans seuil

Ce cas concerne l'arsenic. Les résultats sont présentés dans les **tableaux 46 à 49** :

- les **tableaux 46 et 47** présentent les résultats pour le scénario A. Le premier présente les DJE cumulées (imputables à la rocade et aux bruit de fond local) observées à l'état initial et à l'horizon de référence 2020 avec et sans projet. Les DJE calculées sont égales pour ces différentes situations, notamment en raison des DJE attribuables aux aliments achetés à l'extérieur et aux valeurs mesurées initialement dans les sols et les végétaux. Le deuxième présente les DJE imputables aux émissions de la rocade à l'horizon 2020 ;

- les **tableaux 48 et 49** présentent les résultats relatifs au scénario B. Le premier tableau présente les DJE calculées à partir des résultats de mesures (état initial). Dans le deuxième figurent les DJE imputables aux émissions de la rocade à l'horizon 2020.

Pour les effets sans seuil de dose, on calcule une DJE totale pondérée sur la durée d'exposition retenue de 30 ans (scénario A) ou de 10 ans (scénario B).

Dans le cas du scénario A, les DJE estimées pour les enfants étant toujours plus élevées que les DJE correspondantes pour les classes d'âge adulte, il est majorant de calculer une DJE pondérée sur la période 0 à 30 ans plutôt que, par exemple, sur la période 30 à 60 ans. La formule majorante utilisée est la suivante :

$$\text{DJE totale pondérée} = (1/70 \times \text{DJE totale [1 à 2 ans]}) + (5/70 \times \text{DJE totale [2 à 7 ans]}) + (5/70 \times \text{DJE totale [7 à 12 ans]}) + (5/70 \times \text{DJE totale [12 à 17 ans]}) + (14/70 \times \text{DJE totale [17 à 60 ans]})$$

Avec :

DJE totale pondérée : dose journalière d'exposition totale pondérée sur la durée d'exposition retenue, pour les polluants à effets cancérigènes ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{jour}$)

$i/70$: facteur de pondération pour une durée d'exposition de i année(s) sur la durée de vie entière considérée de 70 ans (-)

DJE totale [j à k , ans] : dose journalière d'exposition totale pour la classe d'âge de j à k ans ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{jour}$)

Tableau 42 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario A** (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée

Typologie de la station	Polluants	1 à 2 ans		2 à 7 ans		7 à 12 ans		12 à 17 ans		17 à 60 ans		Plus de 61 ans	
		Jardins potagers	Aliments achetés										
Proximité routière	As	$1,52.10^{-4}$	$4,1410^{-3}$	$7,47.10^{-5}$	$2,99.10^{-3}$	$2,59.10^{-5}$	$2,61.10^{-3}$	$1,68.10^{-5}$	$1,47.10^{-3}$	$1,54.10^{-5}$	$1,85.10^{-3}$	$1,95.10^{-5}$	$2,26.10^{-3}$
	Ba	$5,75.10^{-3}$	ND	$2,16.10^{-3}$	ND	$1,18.10^{-3}$	ND	$7,95.10^{-4}$	ND	$7,48.10^{-4}$	ND	$1,01.10^{-3}$	ND
	Cd	$1,43.10^{-4}$	$1,80.10^{-4}$	$5,61.10^{-5}$	$1,27.10^{-4}$	$4,22.10^{-5}$	$1,15.10^{-4}$	$2,63.10^{-5}$	$6,44.10^{-5}$	$2,88.10^{-5}$	$6,76.10^{-5}$	$4,08.10^{-5}$	$7,05.10^{-5}$
	Hg	$1,87.10^{-5}$	$3,00.10^{-4}$	$8,83.10^{-6}$	$2,18.10^{-4}$	$5,86.10^{-6}$	$1,84.10^{-4}$	$3,73.10^{-6}$	$1,02.10^{-4}$	$4,05.10^{-6}$	$1,00.10^{-4}$	$5,58.10^{-6}$	$1,02.10^{-4}$
Bruit de fond	As	$1,58.10^{-4}$	$4,14.10^{-3}$	$7,26.10^{-5}$	$2,99.10^{-3}$	$2,82.10^{-5}$	$2,61.10^{-3}$	$1,73.10^{-5}$	$1,47.10^{-3}$	$1,69.10^{-5}$	$1,85.10^{-3}$	$2,26.10^{-5}$	$2,26.10^{-3}$
	Ba	$6,22.10^{-3}$	ND	$1,95.10^{-3}$	ND	$1,34.10^{-3}$	ND	$8,93.10^{-4}$	ND	$8,59.10^{-4}$	ND	$1,20.10^{-3}$	ND
	Cd	$2,11.10^{-4}$	$1,80.10^{-4}$	$6,86.10^{-5}$	$1,27.10^{-4}$	$5,86.10^{-5}$	$1,15.10^{-4}$	$3,51.10^{-5}$	$6,44.10^{-5}$	$3,94.10^{-5}$	$6,76.10^{-5}$	$5,76.10^{-5}$	$7,05.10^{-5}$
	Hg	$1,79.10^{-5}$	$3,00.10^{-4}$	$8,59.10^{-6}$	$2,18.10^{-4}$	$5,70.10^{-6}$	$1,84.10^{-4}$	$3,61.10^{-6}$	$1,02.10^{-4}$	$3,95.10^{-6}$	$1,00.10^{-4}$	$5,45.10^{-6}$	$1,02.10^{-4}$

ND : Non défini

Tableau 43 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario A** (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade

Typologie de la station	Polluants	1 à 2 ans		2 à 7 ans		7 à 12 ans		12 à 17 ans		17 à 60 ans		Plus de 61 ans	
		Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »
Proximité routière	As	$1,48.10^{-7}$	$1,50.10^{-7}$	$7,85.10^{-8}$	$7,95.10^{-8}$	$5,44.10^{-8}$	$5,51.10^{-8}$	$3,38.10^{-8}$	$3,42.10^{-8}$	$3,85.10^{-8}$	$3,89.10^{-8}$	$5,39.10^{-8}$	$5,33.10^{-8}$
	Ba	$3,49.10^{-7}$	$3,97.10^{-7}$	$1,85.10^{-7}$	$2,11.10^{-7}$	$1,28.10^{-7}$	$1,46.10^{-7}$	$7,96.10^{-8}$	$9,06.10^{-8}$	$9,07.10^{-8}$	$1,03.10^{-7}$	$1,26.10^{-7}$	$1,43.10^{-7}$
	Cd	$2,45.10^{-7}$	$2,74.10^{-7}$	$1,10.10^{-7}$	$1,23.10^{-7}$	$7,16.10^{-8}$	$7,98.10^{-8}$	$4,44.10^{-8}$	$4,96.10^{-8}$	$4,87.10^{-8}$	$5,44.10^{-8}$	$6,79.10^{-8}$	$7,57.10^{-8}$
	Hg	$5,97.10^{-8}$	$6,05.10^{-8}$	$3,47.10^{-8}$	$3,51.10^{-8}$	$1,44.10^{-8}$	$1,46.10^{-8}$	$8,85.10^{-9}$	$8,95.10^{-9}$	$9,42.10^{-9}$	$9,53.10^{-9}$	$1,24.10^{-8}$	$1,25.10^{-8}$
Bruit de fond	As	$5,75.10^{-8}$	$5,75.10^{-8}$	$2,95.10^{-8}$	$2,95.10^{-8}$	$2,08.10^{-8}$	$2,08.10^{-8}$	$1,28.10^{-8}$	$1,28.10^{-8}$	$1,46.10^{-8}$	$1,46.10^{-8}$	$2,03.10^{-8}$	$2,03.10^{-8}$
	Ba	$2,90.10^{-7}$	$2,60.10^{-7}$	$1,48.10^{-7}$	$1,33.10^{-7}$	$1,04.10^{-7}$	$9,38.10^{-8}$	$6,46.10^{-8}$	$5,80.10^{-8}$	$7,36.10^{-8}$	$6,61.10^{-8}$	$1,02.10^{-7}$	$9,19.10^{-8}$
	Cd	$6,82.10^{-8}$	$7,06.10^{-8}$	$2,64.10^{-8}$	$2,73.10^{-8}$	$1,91.10^{-8}$	$1,98.10^{-8}$	$1,15.10^{-8}$	$1,19.10^{-8}$	$1,29.10^{-8}$	$1,33.10^{-8}$	$1,84.10^{-8}$	$1,91.10^{-8}$
	Hg	$2,20.10^{-8}$	$2,20.10^{-8}$	$1,25.10^{-8}$	$1,25.10^{-8}$	$5,39.10^{-9}$	$5,39.10^{-9}$	$3,30.10^{-9}$	$3,30.10^{-9}$	$3,53.10^{-9}$	$3,53.10^{-9}$	$4,67.10^{-9}$	$4,67.10^{-9}$

ND : Non défini

Tableau 44 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à l'état initial

Typologie de la station	Polluants	2 à 7 ans	7 à 12 ans
Proximité routière	As	$2,54.10^{-5}$	$4,75.10^{-6}$
	Ba	$1,60.10^{-4}$	$2,99.10^{-5}$
	Cd	$4,31.10^{-7}$	$8,06.10^{-8}$
	Hg	$4,31.10^{-7}$	$8,06.10^{-8}$
Bruit de fond	As	$2,37.10^{-5}$	$4,43.10^{-6}$
	Ba	$1,40.10^{-4}$	$2,62.10^{-5}$
	Cd	$7,76.10^{-7}$	$1,45.10^{-7}$
	Hg	$4,31.10^{-7}$	$8,06.10^{-8}$

Tableau 45 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade

Typologie de la station	Polluants	2 à 7 ans		7 à 12 ans	
		Situation 2020 «fil de l'eau»	situation 2020 «2x3 voies»	Situation 2020 «fil de l'eau»	situation 2020 «2x3 voies»
Proximité routière	As	$2,21.10^{-11}$	$2,20.10^{-11}$	$4,13.10^{-12}$	$4,12.10^{-12}$
	Ba	$2,54.10^{-11}$	$2,71.10^{-11}$	$4,75.10^{-12}$	$5,07.10^{-12}$
	Cd	$8,07.10^{-9}$	$9,26.10^{-9}$	$1,51.10^{-9}$	$1,73.10^{-9}$
	Hg	$9,84.10^{-9}$	$9,81.10^{-9}$	$1,84.10^{-9}$	$1,83.10^{-9}$
Bruit de fond	As	$7,98.10^{-12}$	$7,95.10^{-12}$	$1,49.10^{-12}$	$1,49.10^{-12}$
	Ba	$1,54.10^{-11}$	$1,60.10^{-11}$	$2,87.10^{-12}$	$2,99.10^{-12}$
	Cd	$2,55.10^{-9}$	$2,70.10^{-9}$	$4,76.10^{-10}$	$5,04.10^{-10}$
	Hg	$3,55.10^{-9}$	$3,54.10^{-9}$	$6,64.10^{-10}$	$6,61.10^{-10}$

ND : Non défini

Tableau 46 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil de l'arsenic pour le **scénario A** (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée

Typologie de la station	1 à 2 ans		2 à 7 ans		7 à 12 ans		12 à 17 ans		17 à 31 ans		1 à 31 ans	
	Jardins potagers	Aliments achetés	Jardins potagers	Aliments achetés								
Proximité routière	$2,17.10^{-6}$	$5,91.10^{-5}$	$5,33.10^{-6}$	$2,14.10^{-4}$	$1,85.10^{-6}$	$1,87.10^{-4}$	$1,20.10^{-6}$	$1,05.10^{-4}$	$3,08.10^{-6}$	$3,70.10^{-4}$	$1,36.10^{-5}$	$9,35.10^{-4}$
Bruit de fond	$2,25.10^{-6}$	$5,91.10^{-5}$	$5,18.10^{-6}$	$2,14.10^{-4}$	$2,02.10^{-6}$	$1,87.10^{-4}$	$1,24.10^{-6}$	$1,05.10^{-4}$	$3,39.10^{-6}$	$3,70.10^{-4}$	$1,41.10^{-5}$	$9,35.10^{-4}$

Tableau 47 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour l'arsenic pour le **scénario A** (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade

Typologie de la station	1 à 2 ans		2 à 7 ans		7 à 12 ans		12 à 17 ans		17 à 31 ans		1 à 31 ans	
	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »
Proximité routière	$2,11.10^{-9}$	$2,14.10^{-9}$	$5,61.10^{-9}$	$5,68.10^{-9}$	$3,89.10^{-9}$	$3,93.10^{-9}$	$2,41.10^{-9}$	$2,44.10^{-9}$	$7,69.10^{-9}$	$7,79.10^{-9}$	$2,17.10^{-8}$	$2,20.10^{-8}$
Bruit de fond	$8,22.10^{-10}$	$8,22.10^{-10}$	$2,11.10^{-9}$	$2,11.10^{-9}$	$1,48.10^{-9}$	$1,48.10^{-9}$	$9,17.10^{-10}$	$9,17.10^{-10}$	$2,92.10^{-9}$	$2,93.10^{-9}$	$8,25.10^{-9}$	$8,25.10^{-9}$

Tableau 48 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil de l'arsenic pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée

Typologie de la station	2 à 7 ans	7 à 12 ans	2 à 12 ans
Proximité routière	$1,82.10^{-6}$	$3,39.10^{-7}$	$2,16.10^{-6}$
Bruit de fond	$1,69.10^{-6}$	$3,16.10^{-7}$	$2,01.10^{-6}$

Tableau 49 : Présentation des DJE (en mg/kg.j) pour les expositions chroniques avec effets sans seuil de l'arsenic pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade

Typologie de la station	2 à 7 ans		7 à 12 ans		2 à 12 ans	
	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »
Proximité routière	$1,58.10^{-12}$	$1,57.10^{-12}$	$2,95.10^{-13}$	$2,94.10^{-13}$	$1,87.10^{-12}$	$1,87.10^{-12}$
Bruit de fond	$5,70.10^{-13}$	$5,68.10^{-13}$	$1,07.10^{-13}$	$1,06.10^{-13}$	$6,77.10^{-13}$	$6,74.10^{-13}$

7.7. Caractérisation des risques

C'est l'étape finale d'une évaluation du risque. La quantification des risques consiste à appliquer les relations dose-effet aux valeurs d'exposition estimées. La procédure d'estimation du risque s'applique différemment selon la nature des effets sanitaires. Les polluants dont les effets apparaissent sans seuil d'action connu doivent être distingués de ceux pour lesquels un seuil de nocivité a pu être déterminé.

La méthodologie présentée dans le chapitre 6 pour les risques sanitaires par inhalation est reconduite ici pour les risques sanitaires par ingestion.

7.7.1. Polluants à effet systémique ou à effet avec seuil

7.7.1.1. Calcul du quotient de danger

Les polluants traceurs concernés sont : l'arsenic, le baryum, le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc. On notera plus loin (voir § 7.7.2) que l'arsenic est présent dans les deux catégories de polluants.

Pour cet effet, il faut franchir un seuil pour que la toxicité s'exprime. Ce seuil est la VTR qui a été déterminée et choisie. La possibilité de survenue d'un effet toxique est représentée par un quotient de danger (QD) qui est le rapport entre la dose journalière d'exposition, DJE calculée précédemment, et la VTR correspondante :

$$QD_{oral} = \frac{DJE}{DJT}$$

QD_{oral} = quotient de danger pour la substance i
 DJE : dose journalière d'exposition (mg/kg.j)
 DJT : dose journalière tolérable (au sens dose de référence) en mg/kg.j

Quand la valeur du QD est supérieure à 1, il y a un risque de survenue d'un effet toxique pour la substance considérée. En dessous de 1, la population exposée est théoriquement hors de toute

possibilité d'apparition des effets indésirables pour la santé humaine ; cela reste vrai même pour les populations sensibles du fait des facteurs de sécurité adoptés.

7.7.1.2. Calcul de la somme des dangers

La formule ci-dessus s'applique à chaque substance prise individuellement et pour le seul effet critique, et ne renseigne pas sur l'effet résultant de l'exposition à un mélange. Pour tenir compte de la co-exposition à plusieurs toxiques et à défaut d'informations spécifiques à cette association, les quotients de danger sont additionnés à condition que l'organe cible des polluants soit similaire, sous l'hypothèse d'une addition simple des effets. S'ils sont différents, on suppose l'absence d'interaction (InVs, 2000).

$$SQD_{\text{effet } x} = \sum QD_{\text{effet } x}$$

$SQD_{\text{effet } x}$: Somme des quotients de danger
 $QD_{\text{effet } x}$: Quotient de danger

Les effets néfastes associés aux polluants considérés pour les expositions orales chroniques sont tous différents ; il n'est donc pas possible d'additionner les QD des substances ayant les mêmes effets.

7.7.1.3. Présentation des résultats et commentaires

Les **tableaux 50 à 54** présentent les quotients de danger pour les substances non cancérigènes. Les QD de toutes les classes d'âge ont été calculés.

Dans le cas du scénario A, d'après les calculs effectués, les QD du Ba et du Cd déterminés sont inférieurs au seuil critique et ce quelle que soit la classe d'âge considérée, quelle que soit la localisation du point d'exposition (proximité routière ou bruit de fond) et quel que soit l'horizon d'étude (état initial ou année 2020). Ces résultats, estimés à partir des valeurs médianes, laissent penser que l'exposition orale aux Ba et Cd ne devrait en théorie pas entraîner les effets néfastes qui leur sont associés, chez les personnes présentes sur les points d'exposition. On constate que les QD déterminés pour les classes d'âge correspondant aux enfants (notamment aux enfants en bas-âge) sont toujours supérieurs à ceux obtenus pour les adultes. Ceci est lié au fait que les enfants, en raison d'un rapport consommation d'aliments sur poids corporel défavorable, sont plus exposés que les adultes.

Ce schéma n'est pas respecté pour l'As et le Hg. Des QD supérieurs à 1 sont en effet relevés pour ces deux polluants pour toutes les classes d'âge, pour les deux typologies de stations et pour les différents horizons d'étude si l'on considère l'exposition liée aux aliments achetés à l'extérieur et l'exposition liée à l'ingestion de sol et de végétaux. Les ratios les plus élevés sont également observés pour les enfants de 1 à 2 ans. Les résultats mis en exergue sont fortement influencés par la contribution de certaines concentrations moyennes observées dans les aliments achetés dans le commerce. En effet, selon l'approche développée dans le scénario A, les risques liés à l'exposition d'ingestion de légumes cultivés localement et de sol ne représentent pour l'As et le Hg qu'au maximum respectivement 3,7 % 5,7 % des risques globaux. Tous les QD relatifs à l'ingestion de légumes et de sol restent en dessous de la valeur empirique de 1. Le QD maximal est observé pour l'arsenic mais n'excède pas 53 % du seuil à partir duquel un effet de risque pourrait être observé.

Pour ces deux polluants, on constate également que les émissions liées à la rocade ne contribuent pas à elles seules à des risques de dépassements de la valeur repère ; le QD maximal observé étant de $6,1.10^{-4}$. D'après les calculs effectués par modélisation (contribution des axes de la bande d'étude), la rocade et les axes voisins de la bande d'étude semblent contribuer pour moins de 0,1% aux DJE cumulées. Les évolutions entre la situation 2020 « fil de l'eau » et 2020 « 2x3 voies » sont de ce fait très peu marquées.

Une étude plus approfondie montre également, quel que soit le polluant, qu'il n'y a pas de corrélation marquée entre les DJE totales et la distance aux voies de la rocade. En effet, les teneurs en polluants mesurées dans des échantillons de sol et de végétaux prélevés à proximité de la rocade sont du même ordre de grandeur que celles trouvées dans les échantillons représentatifs du bruit de fond.

Ainsi, selon cette approche, les calculs montrent que la survenue d'un effet toxique non cancérigène est envisageable pour l'arsenic et le mercure indépendamment de l'ingestion de légumes et de sols dans la bande d'étude et de la présence de la rocade. C'est l'ingestion des produits manufacturés complémentaires (viandes, lait, œufs, céréales, poissons, pommes de terre, volailles) achetés dans le commerce qui est à l'origine de la quasi-totalité des risques de dépassements des seuils sanitaires.

Dans le cas du scénario B, caractérisé par l'ingestion de sol des écoles ou des aires récréatives, tous les QD restent inférieurs à 1 quels que soient la typologie de la station (proximité routière ou bruit de fond), la classe d'âge considérée et l'horizon d'étude. Les QD les plus élevés sont observés pour l'ingestion d'As pour les enfants de 2 à 7 ans (QD égal à $8,5.10^{-2}$). Le QD n'excède pas 8,5 % du seuil à partir duquel un effet risque pourrait être observé. Comme précédemment, les émissions liées à la rocade ne contribuent pas à elles seules à des risques de dépassements de la valeur repère, le QD maximal observé étant de $9,8.10^{-5}$.

Tableau 50 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario A** (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée

Typologie de la station	Polluants	1 à 2 ans		2 à 7 ans		7 à 12 ans		12 à 17 ans		17 à 60 ans		Plus de 61 ans	
		QD total	Contribution produits achetés au QD (en %)	QD total	Contribution produits achetés au QD (en %)	QD total	Contribution produits achetés au QD (en %)	RD total	Contribution produits achetés au QD (en %)	RD total	Contribution produits achetés au QD (en %)	QD total	Contribution produits achetés au QD (en %)
Proximité routière	As	14,29	96,5	10,22	97,6	8,79	99,0	4,96	98,9	6,22	99,2	7,61	99,1
	Ba	0,029	0,0	0,011	0,0	0,006	0,0	0,004	0,0	0,004	0,0	0,005	0,0
	Cd	0,65	55,7	0,37	69,3	0,32	73,2	0,18	71,0	0,19	70,2	0,22	63,4
	Hg	3,18	94,1	2,27	96,1	1,90	96,9	1,06	96,5	1,04	96,1	1,08	94,8
Bruit de fond	As	14,31	96,3	10,21	97,6	8,80	98,9	4,96	98,8	6,23	99,1	7,62	99,0
	Ba	0,031	0,0	0,010	0,0	0,007	0,0	0,004	0,0	0,004	0,0	0,006	0,0
	Cd	0,78	46,0	0,39	64,9	0,35	66,3	0,20	64,7	0,21	63,2	0,26	55,0
	Hg	3,18	94,3	2,27	96,2	1,90	97,0	1,06	96,6	1,04	96,2	1,08	94,9

Tableau 51 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario A** (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable au projet

Typologie de la station	Polluants	1 à 2 ans		2 à 7 ans		7 à 12 ans		12 à 17 ans		17 à 60 ans		Plus de 61 ans	
		Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »
Proximité routière	As	4,93.10 ⁻⁴	4,99.10 ⁻⁴	2,62.10 ⁻⁴	2,65.10 ⁻⁴	1,81.10 ⁻⁴	1,84.10 ⁻⁴	1,13.10 ⁻⁴	1,14.10 ⁻⁴	1,28.10 ⁻⁴	1,30.10 ⁻⁴	1,78.10 ⁻⁴	1,80.10 ⁻⁴
	Ba	1,75.10 ⁻⁶	1,99.10 ⁻⁶	9,26.10 ⁻⁷	1,05.10 ⁻⁶	6,42.10 ⁻⁷	7,30.10 ⁻⁷	3,98.10 ⁻⁷	4,53.10 ⁻⁷	4,54.10 ⁻⁷	5,16.10 ⁻⁷	6,28.10 ⁻⁷	7,15.10 ⁻⁷
	Cd	4,91.10 ⁻⁴	5,47.10 ⁻⁴	2,21.10 ⁻⁴	2,46.10 ⁻⁴	1,43.10 ⁻⁴	1,60.10 ⁻⁴	8,89.10 ⁻⁵	9,92.10 ⁻⁵	9,74.10 ⁻⁵	1,09.10 ⁻⁴	1,36.10 ⁻⁴	1,51.10 ⁻⁴
	Hg	5,97.10 ⁻⁴	6,05.10 ⁻⁴	3,47.10 ⁻⁴	3,51.10 ⁻⁴	1,44.10 ⁻⁴	1,46.10 ⁻⁴	8,85.10 ⁻⁵	8,95.10 ⁻⁵	9,42.10 ⁻⁵	9,53.10 ⁻⁵	1,24.10 ⁻⁴	1,25.10 ⁻⁴
Bruit de fond	As	1,92.10 ⁻⁴	1,92.10 ⁻⁴	9,82.10 ⁻⁵	9,82.10 ⁻⁵	6,92.10 ⁻⁵	6,92.10 ⁻⁵	4,28.10 ⁻⁵	4,28.10 ⁻⁵	4,88.10 ⁻⁵	4,88.10 ⁻⁵	6,78.10 ⁻⁵	6,78.10 ⁻⁵
	Ba	1,45.10 ⁻⁶	1,30.10 ⁻⁶	7,42.10 ⁻⁷	6,66.10 ⁻⁷	5,22.10 ⁻⁷	4,69.10 ⁻⁷	3,23.10 ⁻⁷	2,90.10 ⁻⁷	3,68.10 ⁻⁷	3,30.10 ⁻⁷	5,12.10 ⁻⁷	4,60.10 ⁻⁷
	Cd	1,36.10 ⁻⁴	1,41.10 ⁻⁴	5,29.10 ⁻⁵	5,47.10 ⁻⁵	3,82.10 ⁻⁵	3,95.10 ⁻⁵	2,31.10 ⁻⁵	2,39.10 ⁻⁵	2,57.10 ⁻⁵	2,66.10 ⁻⁵	3,69.10 ⁻⁵	3,81.10 ⁻⁵
	Hg	2,20.10 ⁻⁴	2,20.10 ⁻⁴	1,25.10 ⁻⁴	1,25.10 ⁻⁴	5,39.10 ⁻⁵	5,39.10 ⁻⁵	3,30.10 ⁻⁵	3,30.10 ⁻⁵	3,53.10 ⁻⁵	3,53.10 ⁻⁵	4,67.10 ⁻⁵	4,67.10 ⁻⁵

Tableau 52 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à l'état initial

Typologie de la station	Polluants	2 à 7 ans	7 à 12 ans
Proximité routière	As	$8,48.10^{-2}$	$1,58.10^{-2}$
	Ba	$8,00.10^{-4}$	$1,49.10^{-4}$
	Cd	$8,62.10^{-4}$	$1,61.10^{-4}$
	Hg	$4,31.10^{-3}$	$8,06.10^{-4}$
Bruit de fond	As	$7,91.10^{-2}$	$1,48.10^{-2}$
	Ba	$7,01.10^{-4}$	$1,31.10^{-4}$
	Cd	$1,55.10^{-3}$	$2,90.10^{-4}$
	Hg	$4,31.10^{-3}$	$8,06.10^{-4}$

Tableau 53 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable au projet

Typologie de la station	Polluants	2 à 7 ans		7 à 12 ans	
		Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »
Proximité routière	As	$7,37.10^{-8}$	$7,34.10^{-8}$	$1,38.10^{-8}$	$1,37.10^{-8}$
	Ba	$1,27.10^{-10}$	$1,36.10^{-10}$	$2,37.10^{-11}$	$2,53.10^{-11}$
	Cd	$1,61.10^{-5}$	$1,85.10^{-5}$	$3,01.10^{-6}$	$3,46.10^{-6}$
	Hg	$9,84.10^{-5}$	$9,81.10^{-5}$	$1,84.10^{-5}$	$1,83.10^{-5}$
Bruit de fond	As	$2,66.10^{-8}$	$2,65.10^{-8}$	$4,97.10^{-9}$	$4,95.10^{-9}$
	Ba	$7,69.10^{-11}$	$8,00.10^{-11}$	$1,44.10^{-11}$	$1,49.10^{-11}$
	Cd	$5,09.10^{-6}$	$5,40.10^{-6}$	$9,52.10^{-7}$	$1,01.10^{-6}$
	Hg	$3,55.10^{-5}$	$3,54.10^{-5}$	$6,64.10^{-6}$	$6,61.10^{-6}$

Tableau 54 : Présentation des QD pour les expositions chroniques avec effets à seuil pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée

Typologie de la station	Polluants	2 à 7 ans	7 à 12 ans
Proximité routière	As	$8,48.10^{-2}$	$1,58.10^{-2}$
	Ba	$8,00.10^{-4}$	$1,49.10^{-4}$
	Cd	$8,80.10^{-4}$	$1,64.10^{-4}$
	Hg	$4,41.10^{-3}$	$8,24.10^{-4}$
Bruit de fond	As	$7,91.10^{-2}$	$1,48.10^{-2}$
	Ba	$7,01.10^{-4}$	$1,31.10^{-4}$
	Cd	$1,56.10^{-3}$	$2,91.10^{-4}$
	Hg	$4,35.10^{-3}$	$8,12.10^{-4}$

7.7.2. Polluants à effet cancérigène ou à effet sans seuil

7.7.2.1. Calcul de l'excès de risque individuel

Le polluant concerné est l'arsenic.

Il est possible d'estimer un risque qui représente une probabilité de survenue des effets délétères chez un individu ou dans une population pendant sa vie. Ces risques sont estimés sur une durée qui, par convention, est la « vie entière » (prise égale à 70 ans) pour les cancérigènes. Pour ces effets sans seuil, un excès de risque individuel est calculé en multipliant la dose journalière d'exposition par l'excès de risque unitaire par voie orale :

$$ERI = DJE \times ERU_o$$

ERI : excès de risque individuel
(DJE : dose journalière d'exposition (mg/kg.j)
ERU_o : excès de risque unitaire par ingestion (mg/kg.j)⁻¹

Dans un premier temps, il est calculé un ERI par polluant.

Il ne sera pas déterminé d'excès de risque collectif (ERC) qui est le produit de l'ERI par l'effectif de la population concernée (présente à chaque point d'exposition) car l'étude ne concerne que certains points d'exposition sur lesquels seule une petite partie de la population exposée aux émissions de la rocade est présente.

7.7.2.2. Calcul de l'excès de risque global

Les excès de risque en rapport avec une exposition simultanée à plusieurs cancérigènes peuvent être additionnés entre eux s'ils ont le même organe cible³². Selon l'US-EPA, il est possible d'additionner tous les ERI de cancer afin d'apprécier l'excès de risque global de cancer (ERG) qui pèse sur la population exposée (tout type de cancer, toutes localisations tumorales confondues). Dans notre cas, les excès de risque de l'arsenic et du benzo(a)pyrène auraient pu être additionnés. Toutefois, dans le cadre de cette étude, ces co-expositions ne sont pas étudiées car la qualité des informations obtenues est différente entre les deux études. En effet, dans l'étude de Cap Environnement, les ERI ne sont pas disponibles pour les différents états d'exposition sur les points d'exposition concernés.

7.7.2.3. Acceptabilité des risques

Comme pour l'évaluation des risques par inhalation, les résultats seront comparés à la valeur de 10⁻⁵. Les justifications qui accompagnent ce choix ont été présentées dans le paragraphe 6.6.2.3.

7.7.2.4. Présentation des résultats et commentaires

Les **tableaux 55 à 58** présentent les excès de risque individuel (ERI) liés aux expositions cumulées à l'état initial et à l'horizon de référence 2020 et ceux liés aux seules émissions de la rocade.

³² Et également lorsque plusieurs voies d'exposition sont possibles (respiratoire et digestive par exemple).

Dans le scénario A, les résidents consommeront à la fois des aliments produits *in situ* et des aliments manufacturés (issus des circuits commerciaux de distribution). Les ERI sont supérieurs à 1.10^{-5} (> 1 cas de cancer pour 100 000) et même 1.10^{-3} (> 1 cas de cancer pour 1000) si l'on considère les expositions cumulées (bruit de fond et impact de la rocade) à l'état initial et à l'horizon de référence 2020 avec et sans projet. Dans ce contexte, c'est l'impact de la consommation de produits achetés qui est le plus important. Il représente au minimum 98,5 % du risque global estimé sur 30 ans d'exposition. L'ERI imputable à la consommation de légumes et de sol au niveau des jardins potagers se situe autour de 2.10^{-5} mais reste supérieur au seuil d'acceptabilité, en constituant 1,4 % de l'ERI global. La situation n'évolue pas entre l'état initial et 2020, montrant ainsi la faible influence des émissions autoroutières du projet sur les ERI futurs. En effet, les ERI imputables aux émissions de la rocade à l'horizon 2020 restent inférieurs à 10^{-7} et montreraient la faible possibilité supplémentaire d'apparition de l'effet associé à cette substance, c'est-à-dire un cancer de la peau, par rapport à l'exposition de fond (les ERI constatés à proximité de la rocade sont du même ordre de grandeur que ceux calculés en zone de fond).

Ainsi, selon cette approche, les calculs montrent que la survenue d'un effet toxique cancérigène est envisageable dans la bande d'étude indépendamment de la présence de la rocade et du projet de mise à 2 x 3 voies. C'est l'ingestion des produits manufacturés complémentaires (viandes, lait, œufs, céréales, poissons, pommes de terre, volailles) achetés dans le commerce qui est à l'origine de la quasi-totalité des risques de dépassements des seuils sanitaires. L'ingestion de sol et de légumes cultivés dans la bande du projet, à proximité de la rocade ou en zone de fond, pourrait être également à l'origine d'un dépassement du seuil d'acceptabilité considéré dans cette étude.

Si on considère le scénario B (exposition de 10 ans), les ERI sont inférieurs au seuil d'acceptabilité de 10^{-5} . Toutefois, ils restent supérieurs à 10^{-6} . Dans ce contexte, l'impact du projet est encore plus faible que dans le scénario A. Les ERI se situent autour de 10^{-12} , ce qui représenterait au maximum moins de $8,7.10^{-5}$ du risque estimé pour l'état futur.

Tableau 55 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le **scénario A** (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée

Typologie de la station	1 à 2 ans		2 à 7 ans		7 à 12 ans		12 à 17 ans		17 à 31 ans		1 à 31 ans	
	ERI total	Contribution produits achetés à l'ERI (en %)	ERI total	Contribution produits achetés à l'ERI (en %)	ERI total	Contribution produits achetés à l'ERI (en %)	ERI total	Contribution produits achetés à l'ERI (en %)	ERI total	Contribution produits achetés à l'ERI (en %)	ERI total	Contribution produits achetés à l'ERI (en %)
Proximité routière	$9,19.10^{-5}$	96,5	$3,28.10^{-4}$	97,6	$2,83.10^{-4}$	99,0	$1,59.10^{-4}$	98,9	$5,60.10^{-4}$	99,2	$1,42.10^{-3}$	98,6
Bruit de fond	$9,20.10^{-5}$	96,3	$3,28.10^{-4}$	97,6	$2,83.10^{-4}$	98,9	$1,59.10^{-4}$	98,8	$5,60.10^{-4}$	99,1	$1,42.10^{-3}$	98,5

Tableau 56 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le **scénario A** (représentatif de l'exposition au niveau des jardins potagers) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade

Typologie de la station	1 à 2 ans		2 à 7 ans		7 à 12 ans		12 à 17 ans		17 à 31 ans		1 à 31 ans	
	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »
Proximité routière	$3,17.10^{-9}$	$3,21.10^{-9}$	$8,41.10^{-9}$	$8,51.10^{-9}$	$5,83.10^{-9}$	$5,90.10^{-9}$	$3,62.10^{-9}$	$3,66.10^{-9}$	$1,15.10^{-8}$	$1,17.10^{-8}$	$3,26.10^{-8}$	$3,30.10^{-8}$
Bruit de fond	$1,23.10^{-9}$	$1,23.10^{-9}$	$3,16.10^{-9}$	$3,16.10^{-9}$	$2,22.10^{-9}$	$2,22.10^{-9}$	$1,37.10^{-9}$	$1,38.10^{-9}$	$4,39.10^{-9}$	$4,39.10^{-9}$	$1,24.10^{-8}$	$1,24.10^{-8}$

Tableau 57 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à l'état initial, à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition cumulée

Typologie de la station	2 à 7 ans	7 à 12 ans	2 à 12 ans
Proximité routière	$2,73.10^{-6}$	$5,09.10^{-7}$	$3,23.10^{-6}$
Bruit de fond	$2,54.10^{-6}$	$4,75.10^{-7}$	$3,02.10^{-6}$

Tableau 58 : Présentation des ERI pour les expositions chroniques avec effets sans seuil pour le **scénario B** (représentatif de l'exposition au niveau des écoles ou des aires récréatives) à la situation 2020 « fil de l'eau » et à la situation 2020 « 2x3 voies » - Exposition imputable à la rocade

Typologie de la station	2 à 7 ans		7 à 12 ans		2 à 12 ans	
	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »	Situation 2020 « fil de l'eau »	Situation 2020 « 2x3 voies »
Proximité routière	$2,37.10^{-12}$	$2,36.10^{-12}$	$4,42.10^{-13}$	$4,41.10^{-13}$	$2,81.10^{-12}$	$2,80.10^{-12}$
Bruit de fond	$8,55.10^{-13}$	$8,52.10^{-13}$	$1,60.10^{-13}$	$1,59.10^{-13}$	$1,02.10^{-12}$	$1,01.10^{-12}$

7.8. L'analyse des incertitudes

L'évaluation des risques sanitaires est réalisée sur la base d'observations, de procédures de calcul, d'hypothèses et de paramètres, tous affectés d'approximation. Ainsi, la démarche méthodologique veut que, dans la mesure du possible et des connaissances, l'ensemble de ces incertitudes soit abordé. L'évaluation de l'incertitude sera qualitative et quantitative.

7.8.1. Choix des polluants traceurs et évaluation de la toxicité

Les risques n'ont été évalués que pour une série de composés sélectionnés comme traceurs de l'activité autoroutière, au vu notamment des émissions et de leur potentiel toxique. Cette sélection a été opérée sur la base d'un rapport d'un groupe de travail piloté par l'InvS. Cette sélection ne peut être jugée pertinente que sur la base des connaissances disponibles aujourd'hui.

Les valeurs toxicologiques de référence sont celles présentes dans les bases de données usuellement utilisées pour les évaluations de risque. Elles sont issues de la littérature scientifique internationale. Elles ne sont toutefois pas définitives et ne représentent que la connaissance disponible à un moment donné.

7.8.2. Contamination du sol

La contamination initiale du sol a été prise en compte dans le modèle HHRAP afin de caler le modèle. On a considéré que les concentrations mesurées à l'état initial sur une profondeur de 10 cm dans les jardins potagers rendaient compte d'une situation homogène sur les 20 premiers centimètres (sol racinaire).

7.8.3. Influence du lavage

L'influence du lavage des légumes avant consommation n'est pas prise en compte dans la modélisation des concentrations dans les végétaux aux horizons 2020, ce qui a tendance à surestimer les concentrations dans les végétaux. C'est notamment le cas des composés comme les métaux qui se déposent sous forme particulaire et qui sont facilement éliminés au lavage. Les résultats estimés peuvent être considérés comme majorants aux horizons 2020.

Pour prendre en compte l'influence du lavage, il faudrait connaître les pourcentages de réduction pour chaque polluant et chaque type de végétal grâce à des mesures des concentrations avant et après le lavage des végétaux.

7.8.4. Les valeurs des facteurs de transfert

La modélisation des concentrations dans l'environnement et les produits d'exposition est basée sur des équations de transfert, qui utilisent elles-mêmes des facteurs de transfert. Or, l'incertitude liée à ces facteurs de transfert est significative. En effet, les gammes de valeurs proposées dans la littérature sont souvent importantes. Dans cette étude, on a donc fait le choix de paramétrer le modèle sur les valeurs observées dans les sols et les végétaux à l'état initial (cf. **annexe A-9**). Toutefois, les légumes prélevés (salades, tomates, radis) ont été considérés comme représentatifs des grandes catégories de légumes (légumes-feuilles, légumes-fruits et légumes-racines). Des facteurs de transfert ont été calculés à partir des mesures pour être également représentatifs de ces catégories de légumes. Or, il existe, pour les différents légumes appartenant à une même catégorie, des variations importantes entre les facteurs de transfert.

7.8.5. Les valeurs des facteurs de transfert

Les valeurs de bruit de fond actuelles (sol, air, végétaux) ont été maintenues constantes pour établir l'état de référence à l'horizon 2020.

7.8.6. Cibles d'exposition

En fonction des données alimentaires des individus et des données physiologiques, les classes d'âge suivantes ont été considérées :

- les enfants âgés de 1 à 2 ans
- les enfants âgés de 2 à 7 ans,
- les enfants âgés de 7 à 12 ans,
- les mineurs âgés de 12 à 17 ans,
- l'adulte de 17 à 60 ans
- l'adulte de plus de 61 ans.

Pour l'effet sans seuil (effet cancérigène) caractérisé dans le cadre du scénario A, il a été considéré qu'un individu passait 30 ans au voisinage de la rocade de sa 1^{re} à sa 30^e année. Ce scénario d'exposition correspond à une situation d'exposition parmi d'autres. Dans ce cas bien précis, on surestime le risque. Il a été mis en exergue un ERI cumulé (légumes consommés dans la bande d'étude et produits achetés dans le commerce) en arsenic à l'état initial de $1,42.10^{-3}$ dans le cas du scénario A. Si on considère l'exposition d'un adulte pendant 30 ans (de 17 à 47 ans par exemple), alors l'ERI cumulé est de $1,12.10^{-3}$, soit une diminution de plus d'un cinquième par rapport à la situation initiale.

7.8.7. Concentrations initiales dans les sols et dans les végétaux

Les indices de risque et les excès de risque unitaires sont fortement tributaires des concentrations initiales dans les sols et dans les végétaux. Or, l'ensemble des calculs a été réalisé en considérant les concentrations médianes recensées sur la zone. Il s'agit d'un calcul médian. Pour illustrer l'importance de ce phénomène, deux calculs d'exposition sont proposés.

Dans le premier exemple, l'évaluation des risques est effectuée sur la station 151 (scénario A) de proximité automobile. Cette station a été choisie car elle présente les indices de qualité des végétaux et/ou de sols les plus faibles (voir § 4.6.4. et 4.7.3.). Les résultats sont présentés dans le **tableau 59**.

Tableau 59 : Estimation du QD et de l'ERI à l'état initial à partir des concentrations observées sur la station 151 (cas du scénario A) sans tenir compte des apports extérieurs

	QD médian consommation légumes/sol – Enfants 1 à 2 ans	QD point 151 consommation légumes/sol – Enfants 1 à 2 ans	ERI médian cumulé sur 30ans d'exposition - consommation légumes/sol	ERI cumulé sur 30 ans d'exposition au point 151 - consommation légumes/sol
As	$5,06.10^{-1}$	$3,21.10^{-1}$	$2,40.10^{-5}$	$1,62.10^{-5}$
Ba	$2,88.10^{-2}$	$4,65.10^{-2}$	-	-
Cd	$2,86.10^{-1}$	$9,01.10^{-1}$	-	-
Hg	$1,87.10^{-1}$	$1,87.10^{-1}$	-	-

La prise en compte des concentrations observées sur la station 151 n'aboutit pas à des dépassements de la valeur seuil de 1 pour les risques chroniques à seuil. Comme pour le scénario médian, on observe toujours un dépassement du seuil d'acceptabilité de 10^{-5} pour l'As malgré des teneurs inférieures à la médiane mesurées sur cette station.

Dans le deuxième exemple, l'évaluation des risques est effectuée en considérant le percentile 98 des valeurs mesurées dans les sols et dans les végétaux prélevés dans les potagers situés à proximité de la rocade ou en zone de fond. Ce percentile est souvent utilisé pour définir des valeurs fortes. Les résultats sont présentés dans le **tableau 60**.

Tableau 60 : Estimation du QD et de l'ERI à l'état initial à partir des P98 (cas du scénario A) sans tenir compte des apports extérieurs

	QD médian consommation légumes/sol – Enfants 1 à 2 ans	QD P98 consommation légumes/sol – Enfants 1 à 2 ans	ERI médian cumulé sur 30ans d'exposition - consommation légumes/sol	ERI P98 cumulé sur 30 ans d'exposition - consommation légumes/sol
As	$5,06.10^{-1}$	1,02	$2,40.10^{-5}$	$4,99.10^{-5}$
Ba	$2,88.10^{-2}$	$1,12.10^{-1}$	-	-
Cd	$2,86.10^{-1}$	2,30	-	-
Hg	$1,87.10^{-1}$	2,00	-	-

La prise en compte des concentrations représentatives des percentiles 98 aboutit à des dépassements de la valeur seuil de 1 pour les risques chroniques à seuil de l'As, du Cd et du Hg. Comme pour le scénario médian, on observe un dépassement du seuil d'acceptabilité de 10^{-5} pour l'As.

7.8.8. Scenarii d'alimentation

Plusieurs hypothèses ont été adoptées dans cette étude :

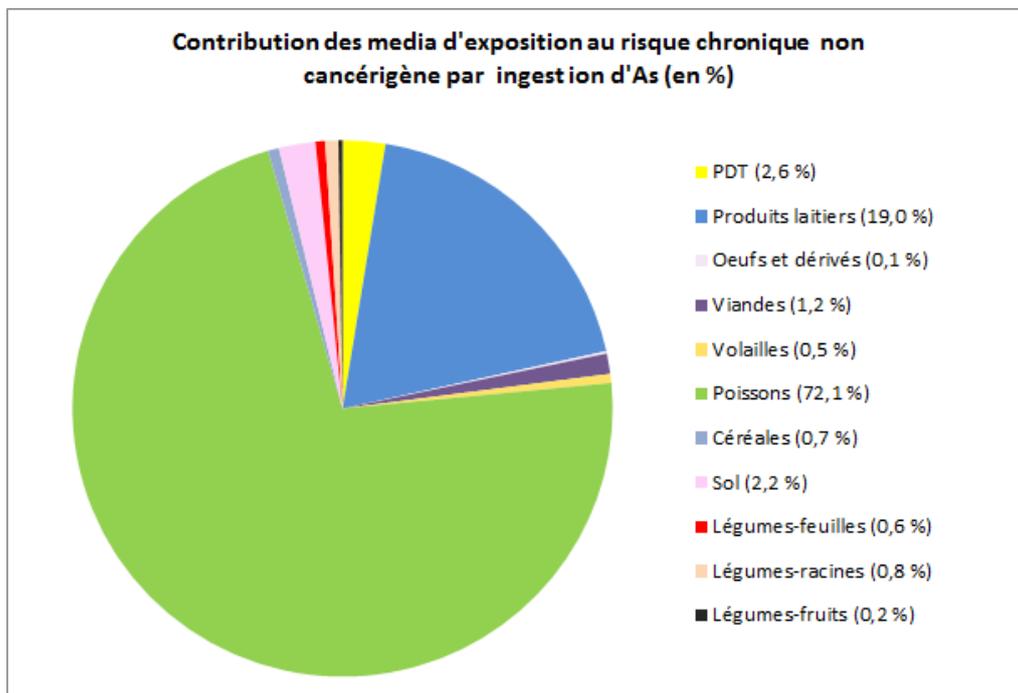
- le scénario d'alimentation ne prend pas en compte les dons ou les échanges entre ménages ; Dubeaux (1994) a estimé par exemple que 42 % des fruits et 40 % des œufs autoproduits sont donnés à des parents ou à des amis, jardiniers ou non ;
- les résultats sont présentés pour un individu moyen, consommant des légumes produits localement ; or il existe des variations entre les comportements et la sensibilité des individus aux contaminants au sein de la population ; les scenarii d'alimentation envisagés permettent de considérer une situation extrême où le riverain consomme exclusivement les légumes de son jardin selon une quantité moyenne d'aliments autoproduits ; dans ce cas, il y a une incertitude sur l'estimation du risque si l'individu achète des légumes à l'extérieur ;
- la consommation des denrées alimentaires achetées à l'extérieur a été considérée selon des scenarii d'alimentation donnés dans des enquêtes de consommation alimentaire ;
- les quantités de sol ingérées retenues sont celles classiquement utilisées dans les évaluations des risques, elles ne sont pas le reflet de la situation locale.

7.8.9. Voies d'exposition majorantes

Pour l'exposition orale, le scénario A est construit sur la base d'une exposition simultanée à différents media d'exposition (lait, œufs, viande, végétaux, sol,...). L'étude n'a pas proposé de scenarii qui auraient pu intégrer une partie de cette exposition. Le **tableau 61** et les **figures 32 et 33** ci-après proposent la contribution de chaque medium d'exposition au risque global obtenu pour les risques chroniques à seuil dans le cas du scénario A (pour les situations de proximité routière) pour l'As et le Hg. La simulation est effectuée pour la classe d'âge 1 à 2 ans.

Tableau 61 : Contribution des différents media d'exposition au risque global calculé pour les risques chroniques à seuil pour la classe d'âge 1 à 2 ans (cas du scénario A)

Médium	Contribution en % au risque global pour l'As	Contribution en % au risque global pour le Hg
Pommes de terre	2,6	14,1
Produits laitiers	19,0	40,4
Oeufs et dérivés	0,1	1,0
Viandes	1,2	5,5
Volailles	0,5	1,7
Poissons	72,1	18,6
Céréales	0,7	12,5
Sol	2,2	0,4
Légumes-feuilles	0,6	1,5
Légumes-racines	0,8	1,0
Légumes-fruits	0,2	3,3

**Figure 32** : Contribution des media d'exposition au risque par ingestion chronique d'arsenic pour les effets non cancérigènes – Cas de la classe d'âge 1 à 2 ans dans le cadre du scénario A développé pour les stations de proximité routière

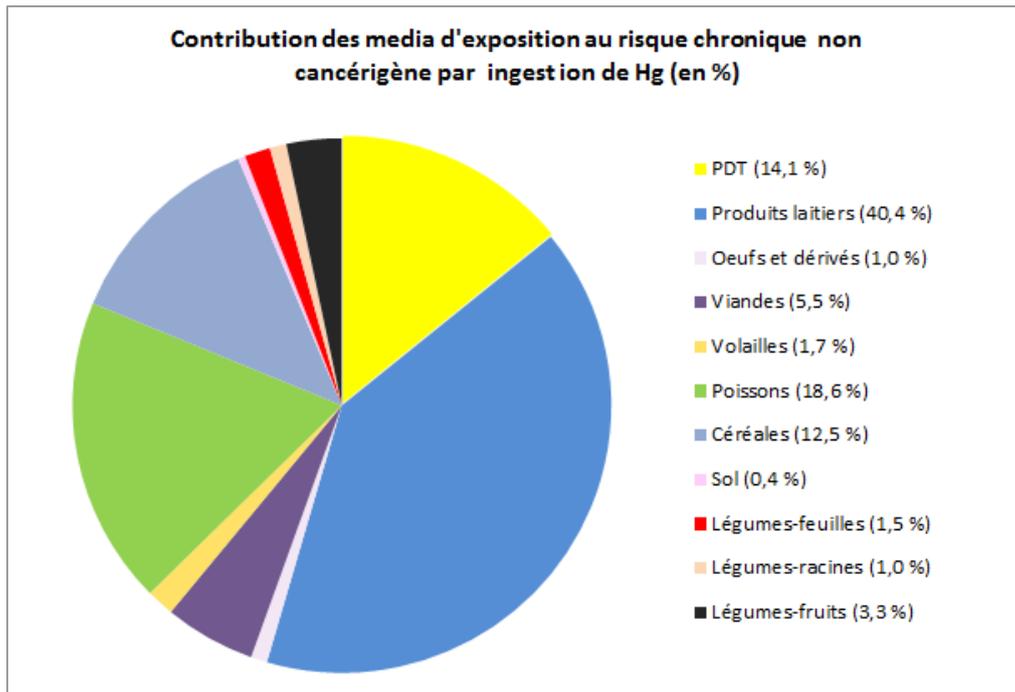


Figure 33 : Contribution des media d'exposition au risque par ingestion chronique de mercure pour les effets non cancérigènes – Cas de la classe d'âge 1 à 2 ans dans le cadre du scénario A développé pour les stations de proximité routière

Les voies d'exposition principales sont :

- pour l'arsenic, l'ingestion de produits laitiers et de poissons. Ils constituent à eux seuls 91,1 % du risque ;
- pour le mercure, l'ingestion de produits laitiers et dans une moindre mesure de pommes de terre, de poissons et de céréales. Ces media représentent 85,6 % du risque.

Comme précédemment, l'erreur sur l'estimation des concentrations et les quantités consommées pour les media précités aura une incidence significative sur l'exposition et les risques associés.

8. PROPOSITIONS DE MESURES DE GESTION

Les résultats de la présente étude sanitaire montrent que les particules diesel émises par la rocade en états actuel et futurs (avec ou sans aménagement) contribuent à augmenter fortement la probabilité d'apparition d'effets sur la santé des populations présentes dans la bande d'étude.

Bien qu'il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables à la pollution atmosphérique générée par le trafic automobile, des actions peuvent toutefois être envisagées pour limiter cette pollution, et de ce fait les risques pour la santé des personnes exposées. Dans la note méthodologique annexée à la circulaire du 25 février 2005, il est indiqué que la pollution atmosphérique dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables. Plusieurs types d'actions peuvent cependant être envisagés pour limiter, à proximité d'une voie donnée, la pollution :

- **la réduction des émissions polluantes à la source** : une modification des conditions de circulation (limitation de vitesse à certaines périodes ou en continu, restrictions pour certains véhicules, etc.) peut avoir un effet sur les émissions polluantes ; depuis le 21 juin 2007, la vitesse maximale sur la rocade a été limitée à 90 km/heure ;
- **la limitation de la dispersion des polluants** : on distingue la pollution gazeuse de la pollution particulaire ; la pollution gazeuse ne peut pas être éliminée par un obstacle physique, mais il est possible de limiter les situations à risques en facilitant la dilution ou la déviation du panache de polluants d'un endroit vers un autre ; la diffusion de la pollution particulaire peut quant à elle être piégée par des écrans physiques et végétaux ; les protections acoustiques ainsi que les végétaux existants et à venir peuvent jouer ce rôle.

L'**annexe A-10** présente de manière exhaustive les différentes orientations d'ordre général pouvant être formulées, notamment en matière de gestion de trafic, pour réduire les émissions relatives aux véhicules routiers et par conséquent les nuisances qui en découlent.

Comme il était précisé dans l'étude de Cap Environnement, à ces actions, il semble nécessaire au vu des résultats de l'ERS d'ajouter une surveillance des concentrations en PM_{2,5} dans l'environnement proche de la rocade. Si l'on considère également que les conditions météorologiques rencontrées lors des périodes de mesures n'étaient pas représentatives des normes saisonnières, il serait également pertinent de suivre le dioxyde d'azote, au droit des habitations situées à proximité directe de l'axe routier, pour confirmer ou infirmer les résultats de l'évaluation des risques sanitaires.

Les mesures pourraient être réalisées sur un rythme annuel sur deux périodes contrastées (été et hiver) pour couvrir au minimum 14 % de l'année afin que les concentrations obtenues soient comparées à des valeurs limites annuelles et qu'elles soient représentatives de conditions météorologiques moyennes. Nous préconisons de suivre en continu les PM_{2,5} et le NO₂ sur ces deux périodes avec des préleveurs actifs disposés sur un point de mesure situé à proximité de la rocade (PS 101 par exemple). Ce réseau de mesures pourra être complété par quelques préleveurs passifs de NO₂ (tubes passifs) disposés sur différents établissements sensibles situés à proximité de la rocade (école, maison de retraite). Ce suivi permettra de mettre en avant les évolutions des concentrations à proximité de la rocade et de répondre aux objectifs du plan de protection de l'atmosphère (PPA) et du plan particules et d'engager des mesures de lutte contre la pollution dans la zone d'actions prioritaires pour l'air (ZAPA).

9. CONCLUSION

La présente étude s'est inscrite dans le cadre du projet de mise à 2 × 3 voies de la rocade ouest de Bordeaux (A630). Conformément au décret du 1^{er} août 2003 modifiant le décret n°77-1141 du 12 octobre 1977, les effets du projet sur la qualité de l'air et la santé avaient été évalués entre les échangeurs n° 4 et 15 en 2006 et 2007 par le groupement Cap Environnement / KTT-iMA / Numtech. Cette étude avait conclu que des risques de dépassements de seuils toxicologiques étaient possibles en situation dite actuelle sur certains des seize polluants étudiés :

- en exposition aiguë pour le dioxyde d'azote,
- en exposition respiratoire chronique pour les particules fines et le chrome (sans effet de seuil),
- en exposition orale chronique pour trois métaux (Ba, Cd et Hg) et un métalloïde (As).

L'État, maître d'ouvrage du programme, s'était alors engagé, lors de l'enquête publique, à réaliser ultérieurement une approche plus fine des concentrations de ces polluants dans différentes matrices environnementales (air, sol et végétaux).

La DREAL Aquitaine a missionné le groupement BioMonitor/LECES/Micropolluants Technologies afin de procéder à la mise en place d'une procédure d'échantillonnage de la qualité de l'air, des sols et des végétaux et d'apporter des éléments qui permettent de réaliser une semi-quantification d'évaluation des risques sanitaires sur les substances concernées.

Concernant l'analyse de la qualité de l'air, les mesures réalisées ne permettent pas d'établir un impact significatif de la rocade sur les populations habitant dans les zones sensibles sur lesquelles les mesures ont été réalisées. Les taux d'exposition aux vents des points de mesure de la rocade sont en effet faibles, ne dépassant généralement pas 10 %.

Concernant les mesures de la qualité des végétaux, l'analyse a permis d'isoler des particularités pour certaines stations (globalement les stations 95, 151, 152 et 156). Elle montre également qu'aucun lien ne peut être établi entre la typologie de la station, la concentration relevée et l'éloignement de la rocade par rapport aux potagers retenus. En effet, les valeurs relevées sur les stations de fond sont souvent équivalentes, voire supérieures, à celles mesurées sur les stations potentiellement impactées par la rocade.

Parallèlement, l'analyse des sols montre que les concentrations en métaux s'apparentent aux teneurs habituellement rencontrées dans les sols. Quelques cas contraires sont mis en évidence, ils sont observés sur les stations 124, 130 et 157. Cela concerne l'arsenic sur la station 130, le cadmium sur les stations 130 et 157 et le mercure sur les stations 124 et 130.

Les mesures ont été réalisées dans le but d'obtenir des données valorisables pour l'évaluation des risques sanitaires par inhalation et ingestion et pour servir de base à un éventuel suivi dans le temps de l'environnement autour de l'infrastructure routière. Les valeurs mesurées ont notamment ainsi été intégrées dans un modèle de transferts de polluants dans différents media amenant une estimation de l'exposition des populations.

La présente étude a donc permis d'affiner la quantification de ces risques sanitaires liés à l'exposition par inhalation ou ingestion de ces polluants émis par la partie de la rocade étudiée (et ses axes voisins) et son projet d'aménagement. Elle a été réalisée conformément à la démarche préconisée par l'InVS et au cadre méthodologique défini par la circulaire du 25 février 2005 pour les études de niveau

I. Elle a également été réalisée de façon à garder au maximum les orientations méthodologiques qui avaient été utilisées lors de l'étude précédente.

Conformément aux indications de la note méthodologie, l'impact sur la santé a été étudié :

- à l'état initial,
- à l'horizon du projet pour la situation de référence (situation 2020 « fil de l'eau »),
- à l'horizon du projet pour la situation de référence (situation 2020 « 2x3 voies »).

L'évaluation des risques par inhalation s'est attachée autant aux effets aigus qu'aux effets chroniques. L'impact a été étudié sur les points d'exposition 18, 38 et 101 sur lesquels des mesures ont été réalisées. Deux scénarios ont été étudiés :

- le **scénario 1** a considéré que la personne fréquentait de manière permanente le point d'exposition ;
- le **scénario 2** a considéré que la personne passait du temps hors de la zone d'étude lors des vacances et pour le travail.

Pour les effets aigus, les calculs montrent que l'exposition par inhalation de NO₂ basée sur les résultats de mesures n'entraînerait pas d'effets respiratoires indésirables. Toutefois cette situation est à prendre avec précaution même si les risques d'exposition des individus aux pics de pollution sont peu probables. En effet, les résultats de l'étude Cap Environnement mettaient en exergue des dépassements de la valeur repère pour les situations modélisées et les mesures ont été réalisées dans des conditions météorologiques peu représentatives d'une exposition moyenne du point de mesures.

Pour les effets chroniques non cancérigènes, l'évaluation des risques liés au dioxyde d'azote et aux particules diesel n'a pas mis en évidence de dépassements des critères sanitaires, que ce soit à l'état initial ou à l'horizon futur 2020 avec ou sans aménagement.

A contrario, concernant les excès de risque de cancers, à l'échelle des points d'exposition, et pour une exposition de 30 ans, les particules diesel et le chrome VI présentent un excès de risque individuel supérieur à la valeur de 10⁻⁵ quel que soit l'horizon d'étude (état initial ou état 2020) et le scénario d'exposition. Pour les particules diesel, les risques imputables aux seules émissions de la rocade engendrent à eux seuls un ERI supérieur au seuil d'acceptabilité. Dans le cas du chrome VI, la concentration de fond considérée contribue majoritairement à la valeur du risque.

L'évaluation des risques par ingestion s'est attachée aux effets chroniques. Un impact médian a été calculé sur les stations de proximité automobile et sur les stations de fond urbain. Deux scénarios ont été étudiés :

- le **scénario A** qui considère qu'une personne est exposée aux polluants lors de l'ingestion de légumes cultivés, l'ingestion de sol de potager et lors de l'ingestion de produits manufacturés achetés (viandes, volailles, œufs et dérivés, produits laitiers, poissons, céréales, pommes de terre) ;
- le **scénario B** qui considère l'exposition d'un enfant lors de l'ingestion de sol dans des écoles maternelles et primaires ou dans les aires récréatives.

Dans le cas du scénario A, l'étude révèle que des dépassements des critères sanitaires obtenus à l'issue des calculs de risque peuvent déjà être attendus à l'état initial pour l'arsenic et le mercure pour les effets non cancérigènes et pour l'arsenic pour les effets cancérigènes. Les calculs montrent que la survenue d'un effet toxique est envisageable indépendamment de la présence de la rocade et du projet de mise à 2x3 voies. C'est l'ingestion des produits manufacturés complémentaires (viandes, lait,

œufs, céréales, poissons, pommes de terre, volailles) achetés dans le commerce qui est à l'origine de la quasi-totalité des risques de dépassements des seuils sanitaires. L'ERS ne met pas en évidence d'augmentation significative des risques du fait de la réalisation de la rocade à 2x3 voies, par rapport aux deux autres situations de référence considérées : état initial (2010) et 2020 « sans aménagement ».

Dans le cas du scénario B, les résultats relatifs aux effets à seuil ne mettent pas en évidence de dépassements de la valeur repère, quels que soient la typologie de la station (proximité routière ou bruit de fond) et l'horizon d'étude. Pour les effets cancérigènes, les valeurs de risque restent inférieures au seuil d'acceptabilité de 10^{-5} . Dans ce contexte, l'impact du projet est encore plus faible que dans le scénario A. Il représenterait au maximum moins de 9.10^{-5} du risque estimé pour l'état futur. Pour ce scénario, les résultats atteints pour les trois situations étudiées sont du même ordre de grandeur.

SIGLES ET ACRONYMES

Institutions, programmes

ADEME : Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Energie
AFSSA : Agence française de Sécurité sanitaire des aliments
AIRAQ : Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine
ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BRGM : Bureau de recherche géologique et minière
CERTU : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
CETE : Centres d'études techniques de l'Équipement
CIRC : Centre international de recherche sur le cancer
CREDOC : Centre de recherche et de documentation sur les consommations
CSHPF : Conseil supérieur d'Hygiène publique de France
DGS : direction générale de la Santé
HHRAP : Human Health Risk Assessment Protocol
HSDB : Hazardous Substances DataBank, banque de données produite par la National Library of Medicine
IARC : International Agency for Research on Cancer
INERIS : Institut national de l'Environnement industriel et des Risques
INRA : Institut national de Recherche agronomique
INSEE : Institut national de la Statistique et des Études économiques
InVS : Institut de veille sanitaire
INRETS : Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité
IPCS : International Program on Chemical Safety
ITER : International Toxicity Estimates for Risk
IRIS : Integrated Risk Information System
IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté nucléaire
OMS : Organisation mondiale de la Santé
RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (institut national de la santé publique et de l'Environnement des Pays-Bas)
SETRA : Service d'études techniques des routes et des autoroutes
TERA : Toxicology Excellence for Risk Assessment & *Concurrent Technologies Corporation*
US-EPA : United States - Environmental Protection Agency

Autres sigles

CMA : concentration moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
CMI : concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
DJA : dose journalière admissible (en $\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{j}$)
DJE : dose journalière d'exposition (en $\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{j}$)
DJT : dose journalière tolérable (en $\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{j}$)
ERC : excès de risque collectif
ERG : excès de risque global
ERI : excès de risque individuel
ERU : excès de risque unitaire en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ pour l'ERU_i (excès de risque unitaire par inhalation) ou en $(\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{j})^{-1}$ pour l'ERU_o (excès de risque unitaire par ingestion)
ERS : évaluation des risques sanitaires

ETM : éléments traces métalliques

MF : matière fraîche

MS: matière sèche

NCE : nombre de cancers en excès

PM : Particulate Matter

RQD : quotient de danger

VTR : valeur toxicologique de référence

GLOSSAIRE

Classe cancérogène : l'agent ou le mélange est décrit au moyen des termes désignant l'une des catégories ci-après, et l'appartenance à un des groupes est établie. Le classement d'un polluant est une affaire de jugement scientifique et s'appuie sur le caractère plus ou moins probant des éléments d'appréciation tirés d'études chez l'homme, l'animal de laboratoire et d'autres informations pertinentes. Il existe plusieurs systèmes de classification. Les systèmes de classification du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) et de l'US EPA, les plus couramment utilisés, sont présentés ci-dessous.

	CIRC	US-EPA
Cancérogène pour l'homme	1 <i>preuves suffisantes chez l'homme</i>	A
Cancérogène probable pour l'homme	2A <i>preuves limitées chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal</i>	B1 et B2
Cancérogène possible pour l'homme	2B <i>preuves limitées chez l'homme et absences de preuves suffisantes chez l'animal</i>	C
Inclassable	3 <i>preuves insuffisantes chez l'homme et insuffisantes ou limitées chez l'animal</i>	D
Probablement non cancérogène pour l'homme	4 <i>Preuves suggérant une absence de cancérogénicité chez l'homme et l'animal</i>	E

Concentration moyenne inhalée (CMI) : estimation de la concentration moyenne en agent toxique inhalée dans l'air ambiant, en tenant compte des modalités de l'exposition. Elle s'exprime généralement en mg/m³ ou µg/m³ d'air ambiant.

Concentration ubiquitaire : concentration représentative d'une concentration naturellement présente dans le compartiment étudié.

Danger : effet sanitaire indésirable comme le changement d'une fonction ou d'une valeur biologique, de l'aspect ou de la morphologie d'un organe, une malformation fœtale, une maladie transitoire ou définitive, une invalidité ou une incapacité, un décès.

Dose journalière d'exposition (DJE) : quantité de polluants ingérée ou absorbée par la peau rapportée à la masse corporelle et moyennée sur la durée d'exposition. Elle s'exprime en mg ou µg de polluant par kilogramme de masse corporelle et par jour (mg/kg.j).

Dose journalière tolérable (DJT) : niveau d'exposition sans risque appréciable pour l'homme. Il est construit en divisant les LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) ou NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) par des facteurs de sécurité.

Dose : quantité d'agents dangereux mis en contact avec l'organisme. Elle s'exprime en milligramme par kilo de poids corporel et par jour.

Effet cancérigène : toxicité qui se manifeste par l'apparition de cancers. Ce type d'effet apparaît sans seuil de dose (effet probabiliste). Sa fréquence - et non sa gravité – est proportionnelle à la dose.

Effet critique : effet résultant de l'action du toxique après absorption et distribution dans différentes parties de l'organisme humain. C'est celui qui survient au plus faible niveau de dose dans l'espèce animale la plus sensible.

Effet avec seuil : effet attendu au-dessus d'un certain niveau d'exposition. En deçà de cette dose, le risque est considéré comme nul. Ce sont principalement les effets non cancérigènes qui sont classés dans cette famille. Au-delà du seuil, l'intensité de l'effet croît avec l'augmentation de la dose administrée.

Effet sans seuil : effet susceptible d'apparaître à n'importe quel niveau d'exposition, sa probabilité d'apparition augmentant avec le niveau d'exposition. Ce sont principalement les effets cancérigènes.

Effet systémique : toxicité d'un agent polluant se manifestant par une atteinte non cancéreuse d'un tissu ou d'une fonction. Ce type d'effet survient au-delà d'un seuil de dose. Sa gravité est proportionnelle à la dose.

Émissions : quantités de polluants mesurées à la sortie d'une source.

Excès de risque individuel (ERI) : probabilité que la cible a de développer l'effet associé à une substance cancérigène pendant sa vie du fait de l'exposition considérée (sans unité).

Excès de risque unitaire (ERU) : l'effet cancérigène d'une substance sans seuil est exprimé par cette notion d'excès de risque unitaire. Par ingestion, on parle d'ERU_o ou d'ERU_i par inhalation Elle exprime la relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer l'effet. En d'autres termes, l'ERU est la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu a de développer l'effet s'il est exposé à une unité de dose ou concentration de toxique pendant une vie entière. Il représente en général la pente de la borne supérieure de l'intervalle de confiance de la courbe dose-réponse et s'exprime, pour une exposition par inhalation en $(\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$ ou $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ et pour une exposition par ingestion en $(\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{j})^{-1}$.

Facteur de bioconcentration : facteur exprimant l'accumulation par un organisme d'une substance à une concentration supérieure à celle mesurée dans l'environnement.

Facteurs d'incertitude : facteurs multiplicatifs appliqués à des données toxicologiques expérimentales ou à des résultats d'études épidémiologiques pour construire une valeur toxicologique de référence.

Organe cible : organe ou système présentant une sensibilité particulière à une substance donnée.

Polluants traceurs du risque : polluants qui dans la zone d'étude sont caractérisés par une source d'émission significative, un caractère dangereux pour l'homme et une probabilité d'intégrer les médias d'exposition de la population (produits destinés à l'alimentation dans le cas de l'exposition indirecte, air dans le cas de l'exposition directe).

Quotient de danger (QD) : utilisé pour caractériser le risque lié aux toxiques systémiques, il correspond à la dose (ou concentration) journalière d'exposition, divisée par la dose (ou concentration) de référence.

Risque : probabilité d'apparition d'effets défavorables ou indésirables (danger) résultant d'une exposition donnée à une ou plusieurs substances prises isolément ou conjointement.

Risque accidentel aigu : probabilité d'apparition d'un effet néfaste sur la santé publique lors d'une exposition de courte durée (quelques secondes à quelques jours) à un agent toxique en concentration élevée.

Risque sanitaire chronique : probabilité d'apparition d'un effet néfaste sur la santé publique lors d'une exposition de longue durée (de quelques années à la vie entière) à un agent toxique en concentration faible.

Valeur toxicologique de référence (VTR) : appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques qui permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxiques à seuils d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuils d'effets). Ce sont des indices toxicologiques établis par des instances internationales ou des structures nationales et regroupées dans des bases de données. Elles sont spécifiques d'un effet donné, d'une voie et d'une durée d'exposition.

ANNEXES

**Annexe A-1:
La démarche d'évaluation des risques sanitaires**

**Annexe A-2:
Fiche descriptive des points de prélèvements**

**Annexe A-3:
Procédure d'échantillonnage et procédures analytiques**

**Annexe A-4:
Rose des vents correspondant aux normales saisonnières et aux périodes de
mesures de la qualité de l'air**

**Annexe A-5:
Résultats détaillés des mesures de poussières en suspension PM2,5**

**Annexe A-6:
Bordereaux d'analyses des végétaux et des sols**

**Annexe A-7:
Concentrations simulées aux points spécifiques**

**Annexe A-8:
Données de consommation humaine**

**Annexe A-9:
Calage du modèle HHRAP**

**Annexe A-10 :
Mesures compensatoires générales pour les conséquences d'un projet sur
l'environnement et la santé**

ANNEXE A-1

La démarche d'évaluation des risques sanitaires

1. Identification du danger et relations dose-réponse

Les deux premières parties de la démarche d'évaluation du risque sont principalement de nature toxicologique.

L'objectif est d'identifier, pour une substance chimique et une voie d'exposition donnée, les effets indésirables que les substances sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme, et d'estimer la probabilité de survenue en fonction de la dose administrée. La VTR (InVS 1999) résume l'information sur le « danger » en établissant une relation entre une dose et un effet ou une probabilité d'effet.

1.1. Identification des dangers

L'identification du potentiel dangereux consiste à répertorier les effets indésirables que les substances sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme.

Dans le cadre de ce volet sanitaire, ce sont principalement les effets relatifs à des expositions sub-chroniques à chroniques qui nous intéressent.

On distingue conventionnellement deux grands types d'effets chroniques :

- 1) Les **effets non cancérigènes** procédant par des mécanismes non génotoxiques (et non mutagènes): ces effets dits systémiques sont considérés comme ne survenant que si une certaine dose d'exposition est atteinte et dépasse les capacités de détoxification de l'organisme. Selon cette approche, il existe un seuil d'exposition en dessous duquel le danger ne peut pas se manifester.
- 2) Les **effets cancérigènes génotoxiques (et mutagènes)** : ils ne sont pas considérés comme régis par un phénomène de seuil et peuvent apparaître quelle que soit la dose d'exposition. Dans ce cas, il existe une probabilité, infime mais non nulle, que l'effet se développe si une seule molécule pénètre dans le corps humain. Les effets réputés sans seuil résultent souvent de mécanismes de mutation génétique pouvant entraîner des tumeurs solides (cancer du poumon par exemple) ou des hémopathies malignes (leucémies). Plus la dose d'exposition est forte, plus grande est la probabilité que le danger s'exprime.

1.2. Relation dose-réponse

L'évaluation de la relation dose – réponse estime la relation entre la dose ou le niveau d'exposition aux substances, et l'incidence et la gravité de ces effets. Cette évaluation permet d'élaborer des VTR. La survenue de l'effet peut obéir à une relation exposition / risque à seuil ou à une relation sans seuil.

• **Relation à seuil** : pour de nombreux effets toxiques (neuro-comportementaux, immunologiques), on estime qu'il existe une dose ou une concentration en dessous de laquelle aucun effet indésirable ne se produit. Au-delà du seuil, l'intensité de l'effet croît avec l'augmentation de la dose reçue. Pour une exposition par voie orale, les VTR sont exprimées en masse de substance par kilogramme de poids corporel et par jour (mg/kg PC.j). Elles correspondent à des doses de référence jugées sans

danger. Il s'agit de valeurs limites qui sont déterminés à partir des doses sans effet nocif observé ou des doses minimum avec effet nocif observé constatées généralement chez l'animal.

• **Relations sans seuil** : la probabilité de survenue de l'effet n'est jamais nulle quelle que soit la dose reçue. Cette probabilité croît avec la dose, l'intensité de l'effet n'étant pas modifiée par la dose. Les effets cancérigènes sont l'exemple le plus répandu d'effet toxique obéissant à une relation sans seuil. La VTR est ici un excès de risque par unité de dose (ERU). Il s'agit de la probabilité de survenue de l'effet toxique au cours de la vie d'un individu qui serait exposé sa vie entière à une unité de dose de l'agent dangereux.

Les VTR sont établies principalement à partir d'études expérimentales chez l'animal mais également à partir d'études et d'enquêtes épidémiologiques chez l'homme auxquelles on applique des facteurs d'incertitude. Ces VTR, définies pour une durée donnée et pour une voie d'exposition donnée, sont établies et actualisées par des instances nationales et internationales (UE, OMS, US-EPA, ATSDR, RIVM, CSHPF) unanimement reconnues.

Lorsque plusieurs VTR existent, notre choix se portera sur celle qui répond le plus favorablement aux critères de sélection suivants :

1. La voie et la durée de l'exposition étudiées et les effets spécifiques. Selon la voie d'exposition, l'absorption d'une substance, son schéma métabolique et sa toxicocinétique peuvent être différents. Ainsi, les VTR utilisées devront être sélectionnées en tenant compte de la voie et de la durée d'exposition correspondant au scénario étudié.
2. Les justifications ou hypothèses explicitées par les auteurs doivent respecter au mieux le principe de transparence (prise en compte des facteurs d'incertitude).
3. Les valeurs issues d'études chez l'homme prévalent sur les études mammaliennes.
4. La valeur numérique la plus protectrice pour la santé doit être prise en compte, dans la mesure du possible, afin de respecter le principe de précaution.

Les critères de choix des VTR et les bases de données consultées dans le cadre de cette étude ont suivi les préconisations de la circulaire du 30 mai 2006³³ et ceux du guide relatif au choix des VTR de l'INERIS³⁴.

1.3. Source d'informations

Il existe des bases de données, ITER³⁵ (proposé par TERA³⁶) ou furetox³⁷, qui regroupent les VTR établies par des instances nationales ou internationales reconnues dans le domaine de l'évaluation des risques sanitaires à savoir : l'ATSDR, le CIRC, l'ITER, le RIVM, l'USEPA et l'OMS. Pour chacun des polluants sélectionnés, les VTR disponibles ont été recherchées. Les bases de données suivantes ont été systématiquement consultées :

³³ La circulaire DGS/SD7B/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.

³⁴ INERIS, 2009, Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) – mars 2009, N°DRC-08-94380-11776C.

³⁵ ITER : International Toxicity Estimates for Risk Database

³⁶ TERA : Toxicology Excellence for Risk Assessment & Concurrent Technologies Corporation

³⁷ Furêtox vise à élargir le champ de la recherche sur Internet et en raccourcir les délais. En particulier, pour une substance chimique donnée, Furêtox permet :

- d'accéder rapidement aux VTR (pour les seules expositions chroniques pour l'instant) et de faciliter l'accès aux documents détaillant leur construction ;
- d'accéder rapidement à la classification de la cancérogénéité.

Furêtox encourage aussi l'expertise critique, en donnant quelques repères sur les méthodes de construction de ces valeurs.

- l'OMS – Environmental Health Criteria (IPCS), série de monographies publiées par l'Organisation Mondiale de la Santé, [en ligne], adresse URL : <http://www.inchem.org>,
- l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Toxicological Profiles, série de monographies publiées par l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry, [en ligne], adresse URL : <http://www.atsdr.cdc.gov>,
- le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) de l'OMS : les monographies sur l'évaluation du risque cancérigène des substances chimiques chez l'homme ont été consultées sur le site internet du CIRC (<http://monographs.iarc.fr>),
- IRIS (Integrated Risk Information System), banque de données produites par l'US-EPA, [en ligne], adresse URL : <http://www.epa.gov/ngispmg3/iris>,
- HSDB (Hazardous Substances DataBank), banque de données produite par la National Library of Medicine (USA), [en ligne], adresse URL : <http://www.toxnet.nlm.nih.gov>,
- RIVM (Institut national de la santé publique et de la protection de l'environnement, Pays-Bas), [en ligne], adresse URL : <http://www.rivm.nl>.

2. Quantification des expositions

Pour une voie donnée (inhalation, ingestion) l'exposition résulte du produit de l'intensité du contact et de sa durée. Elle est estimée pour des groupes de population homogènes quant à leurs modalités d'exposition en termes d'activité, d'âge, de durée et de fréquence d'exposition. La dose d'exposition des personnes à un polluant résulte de la combinaison de quatre paramètres :

- les voies d'exposition,
- la concentration du polluant dans les milieux avec lesquels les personnes sont en contact,
- la fréquence des contacts avec le polluant,
- la durée de ces contacts.

Dans la mesure où il n'y a pas d'uniformité de comportements dans une population considérée, la construction de plusieurs scénarios d'exposition (autant que de situations contrastées) est nécessaire de façon à encadrer les niveaux d'exposition. La connaissance de la population concernée et de ses activités permet de construire des scénarios d'exposition prenant en compte la fréquence et la durée des contacts avec les milieux d'exposition (eau, air, sol) et les quantités absorbées (eau, aliments, sols). La connaissance des contaminations de ces milieux par le ou les polluants appréciée par les concentrations mesurées ou modélisées permet d'estimer l'intensité de cette exposition.

3. Caractérisation des risques

Pour les effets obéissant à des relations dose / réponse à seuil, le résultat de la caractérisation des risques est, pour un individu, égal au rapport de la dose d'exposition sur la VTR. Ce rapport est appelé «quotient de danger» (QD). Lorsque le quotient de danger est inférieur à 1, l'individu exposé est théoriquement hors de danger. Dans le cas contraire, cela signifie que l'effet indésirable peut se produire sans qu'il soit possible d'en déterminer la probabilité de survenue.

Pour les effets obéissant à des relations dose / réponse sans seuil (effets cancérigènes généralement), le résultat est exprimé en excès de risque individuel (ERI). L'excès de risque individuel est la probabilité (sans unité) de survenue d'un danger au cours de la vie entière d'un individu, compte tenu de sa dose journalière d'exposition et de l'ERU de l'agent étudié. Dans un premier temps, il est calculé un ERI par polluant et par voie de contamination retenus. En fonction du contexte local il peut aussi être déterminé un excès de risque collectif (ERC) pour une zone considérée qui est le produit de

l'ERI par l'effectif de la population de la zone considérée. Les ERI sont ensuite additionnés quelle que soit la voie d'exposition. La somme exprime un excès de risque de cancer tous types. Sur la base de cet ERI cumulé peut également être calculé un ERC.

ANNEXE A-2

Fiches descriptives des points de prélèvements

1. Fiches descriptives des points de mesures de la qualité de l'air

*Point de mesure n°18 Pessac
(7 avenue d'Aquitaine - Stade)*

Localisation ou adresse	7 avenue d'Aquitaine
Distance du point à l'axe routier	25 m
Environnement proche du site	Site dégagé sur la pelouse de la propriété du gardien du stade
Polluants mesurés	<ul style="list-style-type: none">• Poussières en suspension PM2,5• NO₂ par tubes passifs• NO₂ en continu
Coordonnées GPS	X = 365957 Y = 1980979



*Point de mesure n°93 Pessac
(Allée des Mimosas – Ecole Montesquieu)*

Localisation ou adresse	Allée des Mimosas
Distance du point à l'axe routier	250 m
Environnement proche du site	Site dégagé sur la limite de propriété de l'école Montesquieu
Polluants mesurés	NO ₂ par tubes passifs
Coordonnées GPS	X = 365142 Y = 1980976



*Point de mesure n°95 Pessac
(41 avenue du Pontet)*

Localisation ou adresse	41 avenue du Pontet
Distance du point à l'axe routier	50 m
Environnement proche du site	Site dégagé, en face de la propriété située au 41 avenue du Pontet
Polluants mesurés	NO ₂ par tubes passifs
Coordonnées GPS	X = 36425 Y = 1980835



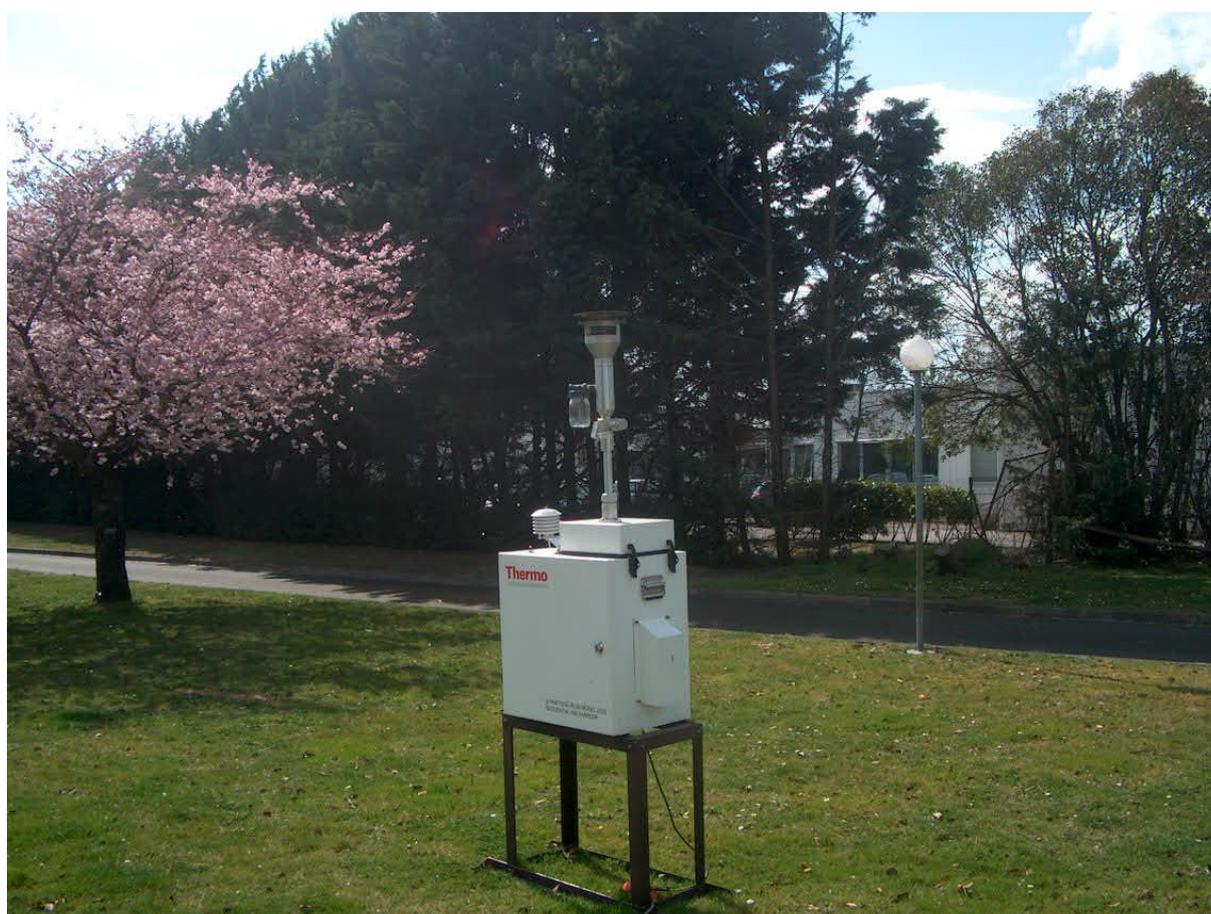
*Point de mesure n°104 Pessac
(45 allée de la Forêt)*

Localisation ou adresse	45 allée de la Forêt
Distance du point à l'axe routier	100 m
Environnement proche du site	Site dégagé, en face de la propriété située au 45 allée de la Forêt
Polluants mesurés	NO ₂ par tubes passifs
Coordonnées GPS	X = 364897 Y = 1980895



*Point de mesure n°38 Mérignac
(72 avenue du Truc – Maison de retraite Résidence Médicis)*

Localisation ou adresse	72 avenue du Truc
Distance du point à l'axe routier	100 m
Environnement proche du site	Site bien dégagé dans la cour de la résidence
Polluants mesurés	Poussières en suspension PM2,5
Coordonnées GPS	X = 365562 Y = 1990779



*Point de mesure n°101 Eysines
(38 rue du Champ de Course – M. Marlut)*

Localisation ou adresse	38 rue du Champ de Course
Distance du point à l'axe routier	5 m
Environnement proche du site	Site dégagé sur la limite de propriété de M. Marlut
Polluants mesurés	Poussières PM2,5
Coordonnées GPS	X 362693 Y = 1987993



2. Fiches descriptives des points de mesures de la qualité des sols et des végétaux

Jardin Potager :		Station 95		
	Localisation et Typologie			
	Longitude/Latitude	0°38'27"O/44°47'20"N		
	Lieu	Les Jardins du Soleil 39 bis avenue du Pontet 33600 Pessac		
	Typologie station	Impactée		
	Caractéristiques			
Ancienneté	-			
Superficie	>50m ²			
Arrosage	Régulier : collecte pluie			
Type de clôture	Grillage métallique			
Usage passé du terrain	Jardin			
Engrais, amendements	Fumier/Lisier			
Nature du sol	Sol rapporté depuis 20 ans			
Mode de distribution :				consommation personnelle
RESULTATS				
UNITE	mg/kg MS ³⁸	mg/kg de MF ³⁹		
Matrice :	SOL	Salade	Poireau	Tomate
As	10.14	0.017	0.003	0.017
Cd	<0.2	0.013	0.007	0.013
Ba	38.33	0.711	0.272	0.711
Hg	<0.2	<0.002	<0.002	<0.002
Date de prélèvement : 31/08/10				

Ecole :		Station 93		
	Localisation et Typologie			
	Longitude/ Latitude	0°37'51"O/44°47'23"N		
	Lieu	Ecole Montesquieu Allée des Mimosas 33600 Pessac		
	Typologie station	Impactée		
	Caractéristiques			
Superficie	30 à 50m ²			
Type de clôture	Haie			
RESULTATS				
UNITE	mg/kg MS			
Matrice :	SOL			
As	4.52			
Cd	<0.2			
Ba	29.96			
Hg	<0.2			
Date de prélèvement : 01/09/10				

³⁸ MS = Matière Sèche³⁹ MF = Matière Fraîche

Stade :		Station 18	
	Localisation et Typologie		
	Longitude/ Latitude	0°37'12"O/44°47'27"N	
	Lieu	Stade 7, avenue Aquitaine 33600 Pessac	
	Typologie station	Impactée	
	Caractéristiques		
Superficie	>50m ²		
Type de clôture	Barrière métallique		
RESULTATS			
UNITE	mg/kg MS		
Matrice :	SOL		
As	5.12		
Cd	0.316		
Ba	63.8		
Hg	< 0.2		
<p>Date de prélèvement : 31/08/10</p>			

Ecole :		Station 160	
	Localisation et Typologie		
	Longitude/ Latitude	0°38'52"O/44°47'36"N	
	Lieu	Ecole LEYGUES Avenue de la châtaigneraie 33600 Pessac	
	Typologie station	Impactée	
	Caractéristiques		
Superficie	>50m ²		
Type de clôture	Barrière métallique		
RESULTATS			
UNITE	mg/kg MS		
Matrice :	SOL		
As	5.86		
Cd	<0.2		
Ba	37.08		
Hg	<0.2		
<p>Date de prélèvement : 01/09/10</p>			

Ecole :		Station 19	
	Localisation et Typologie		
	Longitude/ Latitude	0°37'47"O/44°47'41"N	
	Lieu	Gp scolaire Edouard Herriot 21, avenue de Saige 33600 Pessac	
	Typologie station	Bruit de fond	
	Caractéristiques		
Superficie	>50m ²		
Type de clôture	-		
RESULTATS			
UNITE	mg/kg MS		
Matrice :	SOL		
As	6.99		
Cd	0.248		
Ba	33.99		
Hg	<0.2		
<p>Date de prélèvement : 01/09/10</p>			

Jardin Potager :		Station 149			
	Localisation et Typologie				
	Longitude/Latitude Lieu	0°39'46"O/44°47'37"N Particulier 45, avenue de Saint-Aignan 33600 Pessac			
	Typologie station	Bruit de fond			
Caractéristiques					
	Ancienneté	20 ans			
	Superficie	10 à 30 m ²			
	Arrosage	Régulier : collecte pluie, puit			
	Type de clôture	Haie			
	Usage passé du terrain	Jardin, friche			
	Engrais, amendements	Cendre, CuSO ₄ , compost feuille+déchet ménager,			
	Nature du sol	Terre d'origine			
Mode de distribution : consommation personnelle					
RESULTATS					
	UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF		
	Matrice :	SOL	Salade	Radis	Tomate
	As	6.89	0.006	0.005	< 0.003
	Cd	0.404	0.008	0.004	< 0.013
	Ba	157.6	0.672	0.695	0.064
	Hg	<0.2	< 0.002	< 0.002	<0.003
Date de prélèvement : 31/08/10					

Jardin Potager :		Station 118			
	Localisation et Typologie				
	Longitude/Latitude Lieu	0°39'51"O/44°48'17"N Particulier 18 av. de la première armée 33600 Pessac			
	Typologie station	Impactée			
Caractéristiques					
	Ancienneté	-			
	Superficie	30 à 50 m ²			
	Arrosage	Régulier : réseau AEP			
	Type de clôture	Grillage métallique			
	Usage passé du terrain	Friche			
	Engrais, amendements	Terreau fertilisant			
	Nature du sol	Terre rapportée 30 ans			
Mode de distribution : consommation personnelle					
RESULTATS					
	UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF		
	Matrice :	SOL	Salade	Radis	Tomate
	As	6.78	0.006	0.016	< 0.002
	Cd	0.38	0.04	0.006	0.007
	Ba	200.5	0.351	0.359	< 0.022
	Hg	<0.2	< 0.002	< 0.002	<0.002
Date de prélèvement : 31/08/10					

Ecole :		Station 158	
	Localisation et Typologie		
	Longitude/ Latitude	0°40'15"O/44°48'43"N	
	Lieu	Gp scolaire J. Cartier 35, rue Joseph Paul-Boncour 33600 Pessac	
	Typologie station	Impactée	
Caractéristiques			
Superficie	>50m ²		
Type de clôture	Grillage métallique		
RESULTATS			
UNITE	mg/kg MS		
Matrice :	SOL		
As	5.18		
Cd	0.392		
Ba	34.57		
Hg	<0.2		
Date de prélèvement : 01/09/10			

Jardin Potager :		Station 151		
	Localisation et Typologie			
	Longitude/Latitude	0°40'36"O/44°49'09"N		
	Lieu	Particulier 14, rue Jean Monnet 33700 Mérignac		
	Typologie station	Impactée		
Caractéristiques				
Ancienneté	-			
Superficie	30 à 50 m ²			
Arrosage	Régulier : réseau AEP			
Type de clôture	Haie			
Usage passé du terrain	Friche			
Engrais, amendements	Engrais 3/ans			
Nature du sol	Terre d'origine			
Mode de distribution : consommation personnelle				
RESULTATS				
UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF		
Matrice :	SOL	Salade	Radis	Tomate
As	5.17	< 0.002	0.005	< 0.002
Cd	0.74	0.049	0.007	0.02
Ba	107.1	0.781	1.1	0.109
Hg	<0.2	< 0.002	< 0.002	<0.002
Date de prélèvement : 31/08/10				

Jardin Potager :		Station 152			
	Localisation et Typologie				
	Longitude/Latitude	0°40'05"O/44°49'31"N			
	Lieu	Particulier 12, rue Paul Cézanne 33700 Mérignac			
	Typologie station	Bruit de fond			
	Caractéristiques				
Ancienneté	40 ans				
Superficie	> 50 m ²				
Arrosage	Régulier : réseau AEP				
Type de clôture	Grillage métallique				
Usage passé du terrain	Jardins				
Engrais, amendements	Fumier 1 à 3 / ans				
Nature du sol	-				
Mode de distribution : consommation personnelle					
RESULTATS					
	UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF		
	Matrice :	SOL	Salade	Radis	Tomate
	As	5.57	0.018	0.007	< 0.002
	Cd	0.236	0.241	0.005	0.007
	Ba	48.61	4.11	0.963	< 0.024
	Hg	<0.2	< 0.004	<0.001	<0.002
Date de prélèvement : 01/09/10					

Stade :		Station 43			
	Localisation et Typologie				
	Longitude/ Latitude	0°41'03"O/44°50'18"N			
	Lieu	Complexe Daniel Colombin Allée des Acacias 33700 Mérignac			
	Typologie station	Bruit de fond			
	Caractéristiques				
	Superficie	>50m ²			
	Type de clôture	-			
RESULTATS					
	UNITE	mg/kg MS			
	Matrice :	SOL			
	As	3.98			
	Cd	<0.2			
	Ba	30.93			
	Hg	<0.2			
Date de prélèvement : 31/08/10					

Jardin Potager :		Station 122	
<p>Le propriétaire a refusé la prise de photo</p> <p>Date de prélèvement : 01/09/10</p>	Localisation et Typologie		
	Longitude/Latitude	0°39'45"O/44°51'13"N	
	Lieu	Particulier Allée des Acacias 33700 Mérignac	
	Typologie station	Impactée	
	Caractéristiques		
	Ancienneté	10 ans	
	Superficie	< 10 m ²	
	Arrosage	Régulier : puit	
	Type de clôture	Grillage métallique	
	Usage passé du terrain	pelouse	
Engrais, amendements	Fumier, Bouillie Bordelaise		
Nature du sol	Sol d'origine + de 20 ans		
Mode de distribution : consommation personnelle			
RESULTATS			
UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF	
Matrice :	SOL	Salade	Tomate
As	5.57	0.008	< 0.002
Cd	0.222	0.009	0.002
Ba	115.9	0.67	0.04
Hg	<0.2	< 0.002	< 0.002

Stade :		Station 45		
 <p>Date de prélèvement : 31/08/10</p>	Localisation et Typologie			
	Longitude/ Latitude	0°39'40"O/44°50'28"N		
	Lieu	Maternelle Jean Macé 2, rue Georges Courteline 33700 Mérignac		
	Typologie station	Impactée		
	Caractéristiques			
	Superficie	>50m ²		
	Type de clôture	Grillage métallique, haie		
	RESULTATS			
	UNITE	mg/kg MS		
	Matrice :	SOL		
As	6.64			
Cd	<0.2			
Ba	47.82			
Hg	<0.2			

Jardin Potager :		Station 124			
	Localisation et Typologie				
	Longitude/Latitude	0°39'26"O/44°51'49"N			
	Lieu	Particulier 1, allée du Limancet 33320 Eysines			
	Typologie station	Impactée			
	Caractéristiques				
	Ancienneté	-			
	Superficie	30 à 50 m ²			
	Arrosage	Régulier : réseau AEP			
	Type de clôture	Mur			
	Usage passé du terrain	Jardins			
Engrais, amendements	Compost déchets ménager feuille purin d'orties Bouillie Bordelaise, cendre				
Nature du sol	Sol d'origine + de 20 ans				
Mode de distribution : consommation personnelle					
RESULTATS					
	UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF		
	Matrice :	SOL	Salade	Poireau	Tomate
	As	8.95	< 0.002	0.004	<0.002
	Cd	0.457	0.004	0.005	0.006
	Ba	136.1	0.092	0.452	0.059
	Hg	0.251	< 0.002	< 0.003	<0.002
Date de prélèvement : 31/08/10					

Ecole :		Station 161			
	Localisation et Typologie				
	Longitude/ Latitude	0°39'15"O/44°51'34"N			
	Lieu	Ecole primaire E. Herriot 14, rue du 19 mars 1962 33700 Merignac			
	Typologie station	Bruit de fond			
	Caractéristiques				
	Superficie	>50m ²			
	Type de clôture	-			
	RESULTATS				
		UNITE	mg/kg MS		
		Matrice :	SOL		
	As	3.53			
	Cd	< 0.2			
	Ba	18.93			
	Hg	<0.2			
Date de prélèvement : 31/08/10					

Ecole :		Station 73	
	Localisation et Typologie		
	Longitude/ Latitude	0°38'18"O/44°52'18"N	
	Lieu	Gp Scolaire Migron Rue des Violettes 33320 Eysines	
	Typologie station	Impactée	
	Caractéristiques		
Superficie	>50m ²		
Type de clôture	-		
RESULTATS			
UNITE	mg/kg MS		
Matrice :	SOL		
As	6.72		
Cd	< 0.2		
Ba	30.91		
Hg	<0.2		
Date de prélèvement : 01/09/10			

Jardin Potager :		Station 154		
	Localisation et Typologie			
	Longitude/Latitude	0°38'10"O/44°52'39"N		
	Lieu	Particulier 13, avenue du Derby 33320 Eysines		
	Typologie station	Bruit de fond		
	Caractéristiques			
Ancienneté	40 ans			
Superficie	> 50 m ²			
Arrosage	Régulier : puit			
Type de clôture	Grillage métallique			
Usage passé du terrain	Pâturage			
Engrais, amendements	Fumier, composte feuilles herbe déchets ménagers, Bouillie bordelaise			
Nature du sol	Sol d'origine + de 20 ans			
Mode de distribution : consommation personnelle				
RESULTATS				
UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF		
Matrice :	SOL	Salade	Poireau	Tomate
As	6.13	0.007	0.006	< 0.002
Cd	0.399	0.033	0.01	0.006
Ba	59.99	0.392	0.385	0.047
Hg	<0.2	< 0.002	<0.004	< 0.002
Date de prélèvement : 01/09/10				

Jardin Potager :		Station 101	
	Localisation et Typologie		
	Longitude/Latitude	0°37'55"O/44°52'36"N	
	Lieu	Particulier 21, allée d'Ascot 33320 Eysines	
	Typologie station	Impactée	
	Caractéristiques		
	Ancienneté	22 ans	
	Superficie	10 à 30 m ²	
	Arrosage	Régulier : réseau AEP	
	Type de clôture	mur	
	Usage passé du terrain	Terrain agricole (vignes)	
Engrais, amendements	Fumier, cendre		
Nature du sol	Sol d'origine + de 20 ans		
Mode de distribution : consommation personnelle			
RESULTATS			
UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF	
Matrice :	SOL	Salade	Tomate
As	6.14	<0.002	< 0.002
Cd	0.3	0.01	0.004
Ba	89.04	0.248	0.058
Hg	<0.2	< 0.002	<0.002
Date de prélèvement : 01/09/10			

Crèche :		Station 130		
	Localisation et Typologie			
	Longitude/ Latitude	0°36'46"O/44°53'03"N		
	Lieu	Crèche le Petit Prince 5 rue Camille Saint-Saëns 33520 Bruges		
	Typologie station	Bruit de fond		
	Caractéristiques			
	Superficie	>50m ²		
	Type de clôture	-		
	RESULTATS			
	UNITE	mg/kg MS		
	Matrice :	SOL		
As	23.17			
Cd	1.44			
Ba	134.9			
Hg	0.402			
Date de prélèvement : 02/09/10				

Stade :		Station 84		
	Localisation et Typologie			
	Longitude/ Latitude	0°35'28"O/44°53'15"N		
	Lieu	Centre sportif Daugere Rue Daugere 33520 Bruges		
	Typologie station	Impactée		
	Caractéristiques			
	Superficie	>50m ²		
	Type de clôture	-		
	RESULTATS			
	UNITE	mg/kg MS		
	Matrice :	SOL		
As	18.67			
Cd	0.513			
Ba	74.94			
Hg	<0.2			
Date de prélèvement : 02/09/10				

Jardin Potager :		Station 157				
	Localisation et Typologie					
	Longitude/Latitude	0°37'10"O/44°53'14"N				
	Lieu	Particulier 121, avenue de Verdun 33520 Bruges				
	Typologie station	Impactée				
	Caractéristiques					
	Ancienneté	32 ans				
	Superficie	> 50 m ²				
	Arrosage	Régulier : collecte pluie				
	Type de clôture	Grillage métallique				
	Usage passé du terrain	pelouse				
Engrais, amendements	Fumier, cendre					
Nature du sol	-					
Mode de distribution : consommation personnelle						
RESULTATS						
UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF				
Matrice :	SOL	Salade	Poireau	Tomate		
As	7.77	0.005	0.003	< 0.003		
Cd	1.04	0.018	0.01	0.004		
Ba	155.4	0.258	0.51	0.037		
Hg	<0.2	< 0.001	< 0.003	< 0.003		
Date de prélèvement : 02/09/10						

Jardin Potager :		Station 156				
	Localisation et Typologie					
	Longitude/Latitude	0°37'16"O/44°53'25"N				
	Lieu	Asso. Les Jardins Girondins Chemin de Labattut 33520 Bruges				
	Typologie station	Bruit de fond				
	Caractéristiques					
	Ancienneté	20 ans				
	Superficie	> 50 m ²				
	Arrosage	Régulier : puit				
	Type de clôture	Grillage métallique				
	Usage passé du terrain	Friche acacias				
Engrais, amendements	Fumier, cendres de tabac					
Nature du sol	Bouillie bordelaise, potasse					
Mode de distribution : consommation personnelle						
RESULTATS						
UNITE	mg/kg MS	mg/kg de MF				
Matrice :	SOL	Salade	Poireau	Tomate		
As	9.92	0.012	0.003	0.006		
Cd	0.479	0.022	0.004	0.016		
Ba	72.96	0.289	0.085	0.046		
Hg	<0.2	0.002	< 0.002	< 0.002		
Date de prélèvement : 02/09/10						

ANNEXE A-3

Procédure d'échantillonnage et procédures analytiques

1. Méthodologie de prélèvement de la qualité de l'air

1.1. Poussières en suspensions PM_{2,5}

Pour le prélèvement des matières particulaires en suspension PM_{2,5} dans l'air ambiant, le capteur employé est identique à celui utilisé pour la mesure des poussières PM₁₀. C'est un préleveur automatique permettant de collecter sur filtres des échantillons de PM_{2,5} sur des périodes de durée choisie (24 heures pour cette étude) à un débit d'aspiration constant. Il répond aux exigences des normes NF X43-021, NF X43-023 (partie prélèvement), NF EN 14907 et NF EN 12 341.

Pour la mesure des poussières en suspension PM_{2,5}, un insert cyclonique, ayant un pouvoir de coupure granulométrique à 2,5 µm, est intercalé entre la tête de prélèvement PM₁₀ et le bloc de filtration.

La concentration en PM_{2,5} dans l'air ambiant est obtenue à partir de la masse de poussières prélevée et ramenée à l'unité de volume prélevé (24 m³ par échantillon). Toutes les pesées de filtres avant et après échantillonnage sont effectuées dans une salle climatisée (température et hygrométrie constantes), après 48 heures de stabilisation.

Les appareils utilisés ont été des capteurs PARTISOL PLUS (model 2025 Sequential Air Sampler) fabriqués par la société THERMO R&P (USA) et commercialisés en France par la société ECOMESURE.

Les appareils sont automatiques, ce qui permet de réaliser des séries de 15 prélèvements, à des durées de prélèvement programmables, sans intervention, sauf en cas de panne. Les prélèvements de matières particulaires en suspension PM_{2,5} sont collectés sur des filtres en fibre de verre de diamètre 47 mm.

Le débit d'aspiration utilisé est de 1 m³/h. Il est régulé pendant le prélèvement.

Les prélèvements de 24 heures ont été réalisés pendant 28 jours consécutifs simultanément sur les 3 points.

L'incertitude élargie avec un facteur k=2 pour un seuil de confiance de 95% pour la mesure de la concentration en poussières PM_{2,5} est de :

- ± 10 % si C= 30 µg/m³,
- ± 15 % si C= 20 µg/m³,
- ± 20 % si C= 15 µg/m³,
- ± 25 % si C= 12 µg/m³.

1.2. Mesures de NO₂

a) Mesures de NO₂ par tubes passifs

Prélèvement

Les mesures de NO₂ ont été réalisées par tubes passifs. Un système d'échantillonnage à diffusion passive (figure A-1) se compose d'un corps diffusif, d'une cartouche adsorbante et d'un support.



Figure A-1 : Ensemble support - corps diffusif - cartouche.

Sur le terrain, le tube est fixé horizontalement dans un abri de protection contre les intempéries. L'abri est lui-même fixé au mobilier urbain (poteaux, lampadaires, ...) à environ 2,5 m du sol.

Le principe du tube à diffusion passive repose sur la « fixation » du polluant mesuré et présent dans l'air ambiant sur un capteur spécifique imprégné d'un adsorbant chimique spécifique au polluant mesuré.

Les tubes sont exposés pendant une durée déterminée. Le polluant gazeux est piégé et accumulé sur l'adsorbant durant cette période.

Dans le cadre de l'étude, à chaque campagne de mesure (hiver et été), les mesures ont été réalisées pendant 28 jours à raison de 2 périodes d'exposition de 14 jours consécutifs.

Analyse

La cartouche adsorbante (code 166) est en polyéthylène microporeux imbibé de triéthanolamine (TEA) humide. Le dioxyde d'azote (NO₂) est chimisorbé par la TEA sous forme d'ions nitrite. L'ion nitrite peut être mesuré soit par spectrométrie visible soit par chromatographie ionique.

Les analyses ont été réalisées par le laboratoire Micropolluants Technologie situé à Thionville, selon une procédure identique à celles des années précédentes.

Au total, 4 points de mesures, 7 tubes ont été analysés par période d'exposition de 14 jours :

- 1 tube par point de mesure,
- 2 tubes supplémentaires sur un des 4 points de mesures, pour vérifier la répétabilité de la mesure,
- 1 analyse de blanc.

Sur les 2 campagnes de mesures (hiver et été), 28 tubes ont été analysés (7 tubes x 4 périodes d'exposition).

L'incertitude pour une mesure de 7 jours est de 11,9% pour le NO₂.

b) Mesures de NO₂ en continu

La mesure du dioxyde d'azote en continu a été effectuée selon la norme EN 14211.

Les oxydes d'azote (NO_x) sont composés essentiellement du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO₂). L'analyseur utilisé pour mesurer les concentrations en oxydes d'azote est basé sur la chimiluminescence.

Les mesures de NO₂ ont été réalisées pendant 28 jours en continu à chaque campagne de mesures.

La limite de détection en NO₂ de l'analyseur est de 0,7 µg/m³ (2σ).

2. Méthodologie de prélèvement des sols et des végétaux

Les prélèvements des sols et des végétaux ont été réalisés entre le 31 août 2010 et le 2 septembre 2010.

2.1. Description de la campagne de prélèvements des sols

La stratégie d'échantillonnage des sols fait référence aux principales normes régissant ce type d'échantillonnage, à savoir la norme NF 31-100⁴⁰, la série des normes NF ISO 10-381 relatives aux différents aspects de l'investigation et de l'échantillonnage des sites et la norme NF ISO 15800 (juin 2004)⁴¹. Les informations relatives aux lieux de prélèvements (description du site) sont indiquées en **annexe A-2**.

Les prélèvements ont été réalisés sur :

- les 3 premiers centimètres pour les sols non remaniés (dans les écoles et les équipements sportifs),
- les 10 premiers centimètres pour les sols remaniés (dans les jardins potagers).

Les échantillons sont collectés à l'aide d'une tarière manuelle en inox. L'échantillon global est constitué d'une dizaine de prélèvements élémentaires répartis de façon uniforme sur l'ensemble de la surface de la station et sur toute la profondeur de la couche échantillonnée afin d'homogénéiser au maximum l'échantillon et d'augmenter la représentativité. Sur chaque aire d'échantillonnage, repérée par des coordonnées géoréférencées, ont été effectués 10 à 15 carottages selon la surface prospectée.

Le prélèvement est homogénéisé et les éléments grossiers (> 2mm) sont éliminés. Une dose identique de tamisat est récupérée pour chaque échantillon élémentaire. Tous les tamisats sont réunis dans un bac plastique et homogénéisés à l'aide d'une petite pelle. L'échantillon composite est constitué selon la méthode du quartage. Les échantillons de sols sont identifiés, conditionnés en bocaux étanches et emballés dans du papier aluminium à l'abri de la lumière. Ils sont conservés dans une glacière permettant de les maintenir à une température d'environ 4°C, pendant le transport.

Une moitié de l'échantillon est envoyée au laboratoire et la seconde est gardée pour une vérification ultérieure éventuelle. Les échantillons de sols sont préparés avant analyse selon la norme française NF EN ISO 11464.

⁴⁰ NF ISO X31-100, décembre 1992, Qualité des sols, Echantillonnage, Méthode de prélèvements d'échantillons de sol, AFNOR, 1992, 11 p.

⁴¹ Norme NF ISO 15800, juin 2004, Qualité du sol, Caractérisation des sols relative à l'exposition des personnes.

2.2. Description de la campagne de prélèvements des végétaux

a) Choix des végétaux

BioMonitor a procédé à des prélèvements de légumes dans les potagers. La sélection des légumes s'est appuyée sur l'importance de la consommation des légumes autoproduits localement (panier moyen de la ménagère) et des habitudes de culture locale. BioMonitor a considéré les données statistiques disponibles auprès de la base de données CIBLEX pour orienter ses prélèvements. Ces derniers ont été orientés sur les principaux types de légumes (légumes-feuilles, légumes-fruits, légumes-racines ou légumes-tiges). Les prélèvements ont également été orientés de façon à être en adéquation avec la méthodologie HHRAP qui prévoit l'intégration de valeurs pour les différentes grandes familles de légumes.

Le même légume choisi pour caractériser sa catégorie a été prélevé dans chaque potager, ce qui permet *in fine* de limiter les incertitudes liées à la variabilité inter-espèces et de rendre robuste la comparaison des résultats.

Les prélèvements ont donc été orientés pour chaque station sur:

- les salades,
- les tomates,
- les radis ou les poireaux.

b) Méthodologie de prélèvement

Les prélèvements de végétaux ont été effectués selon un *modus operandi* qui s'appuie sur les connaissances de l'usage réel ou planifié du site mais aussi de son historique (d'où l'importance de l'étape préalable liée à la caractérisation qualitative du site). La campagne de prélèvements s'est appuyée sur les prescriptions européennes citées dans la Directive 2001/22/CE⁴² modifiée par le Règlement 333/2007⁴³. On se réfère à ce titre au guide d'échantillonnage proposé par l'INERIS⁴⁴ dans le cadre des diagnostics environnementaux qui présente dans son annexe 4 une fiche d'identification d'un potager.

Chaque échantillon est toujours constitué de plusieurs pièces collectées en plusieurs endroits du potager. Les échantillons sont prélevés à l'aide de gants non talqués et d'un couteau à lame céramique.

Les échantillons sont conditionnés dans du papier aluminium codé selon les références internes à BioMonitor. Entre chaque prélèvement, le matériel de prélèvement est nettoyé.

Maintenus dans une glacière thermostatée, les échantillons sont amenés directement au laboratoire.

Au laboratoire, seule la partie comestible des végétaux est retenue (feuilles débarrassées des parties nécrosées et de la nervure centrale) avant d'être soumise à un lavage succinct, un essorage et un séchage selon les pratiques courantes de consommation (**tableau A-1**).

⁴² Directive 2001/22/CE de la Commission du 8 mars 2001 portant fixation de modes de prélèvement d'échantillons et de méthodes d'analyse pour le contrôle officiel des teneurs en plomb, cadmium, mercure et 3-MPCD dans les denrées alimentaires.

⁴³ Règlement 333/2007 de la Commission du 28 mars 2007 portant fixation des modes de prélèvement d'échantillons et des méthodes d'analyse pour le contrôle officiel des teneurs en plomb, cadmium, mercure, en étain inorganique, en 3-MPCD et en benzo(a)pyrène dans les denrées alimentaires

⁴⁴ Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux, Document de travail piloté par l'ADEME et l'INERIS. Version 0. 2007.

Tableau A-1 : Mode opératoire de préparation des échantillons de légumes avant analyse.

Légumes	Mode opératoire commun	Préparation spécifique
Radis		découpés en rondelle
Poireaux	Les légumes sont débarrassés des parties non comestibles (parties nécrosées, feuilles externes et racines) puis rincés succinctement et essorés.	Epluchés, conservation de 10 cm de feuilles et découpe en rondelles
Salades		Feuilles découpées et débarrassées des grosses côtes
Tomates		Equeutées

La biomasse fraîche est une première fois pesée avant séchage et une seconde fois après séchage afin de déterminer le taux d'humidité des échantillons. Les échantillons ont été ensuite divisés en deux lots. L'un a été conservé pour une éventuelle vérification ultérieure, le second a suivi les procédures techniques et analytiques visant à la détermination des teneurs en polluants.

2.3. Méthodologie d'analyse

L'étude prévoit l'analyse de l'arsenic (As), du baryum (Ba) du cadmium (Cd) et du mercure (Hg).

Les analyses des ETM ont été effectuées par le laboratoire Micropolluants Technologie, spécialiste de l'analyse de polluants traces. Le laboratoire est accrédité COFRAC sous le n° 1-1151 pour l'analyse de l'As, du Cd et du Hg. Le Ba n'est pas couvert par l'accréditation COFRAC.

A l'exception du mercure, les analyses des ETM dans les sols sont réalisées après extraction acide par plasma à couplage inductif avec détecteur de spectrométrie de masse (ICP-MS) Les analyses de mercure sont réalisées par fluorescence atomique (AFS) selon la méthode interne MOp C-4/47 V0 et la norme NF EN ISO 16772.

A l'exception du mercure, les analyses des ETM dans les légumes sont réalisées après extraction acide par plasma à couplage inductif avec détecteur de spectrométrie de masse (ICP-MS) selon la méthode interne MOp C-4/18 V5. Les analyses de mercure sont réalisées par fluorescence atomique (AFS) selon la méthode interne MOp C-4/47 V0 et la norme NF EN ISO 17852.

L'incertitude tolérée sur la mesure est de 20% sur la base du contrôle d'étalonnage journalier des appareils. Les limites de quantification relatives aux métaux sont présentées dans le **tableau A-2** ci-après.

Tableau A-2 : Présentation des limites de quantification des ETM dans le cadre de la mesure dans les sols et des végétaux (mg/kg de MS).

	SOL	VEGETAUX
As, Cd et Hg	0,20	0,025
Ba	2	0,25

2.4. Description des stations de mesures

Quelle que soit la matrice de prélèvements, la mesure doit être assortie d'une description précise du territoire sur lequel elle est réalisée et d'une classification du point de mesure. Des fiches de description des sites de mesure sont présentées en **annexe A-2** :

- un descriptif de la zone d'implantation (accompagné de photographies),
- la classification de la commune d'appartenance,
- la surface de la parcelle de prélèvement et la nature du sol prélevé,
- les modes de distribution et de consommation de légumes,
- l'origine de l'eau utilisée pour l'arrosage des légumes,
- les coordonnées géoréférencées des stations (latitude, longitude et altitude).

Cette phase permet d'améliorer l'interprétation des concentrations des polluants ayant présentés des dépassements des seuils sanitaires aux secteurs sensibles et d'améliorer la connaissance des scénarii d'exposition sur ces secteurs sensibles.

ANNEXE A-4

Rose des vents correspondant aux normales saisonnières et aux périodes de mesures de la qualité de l'air



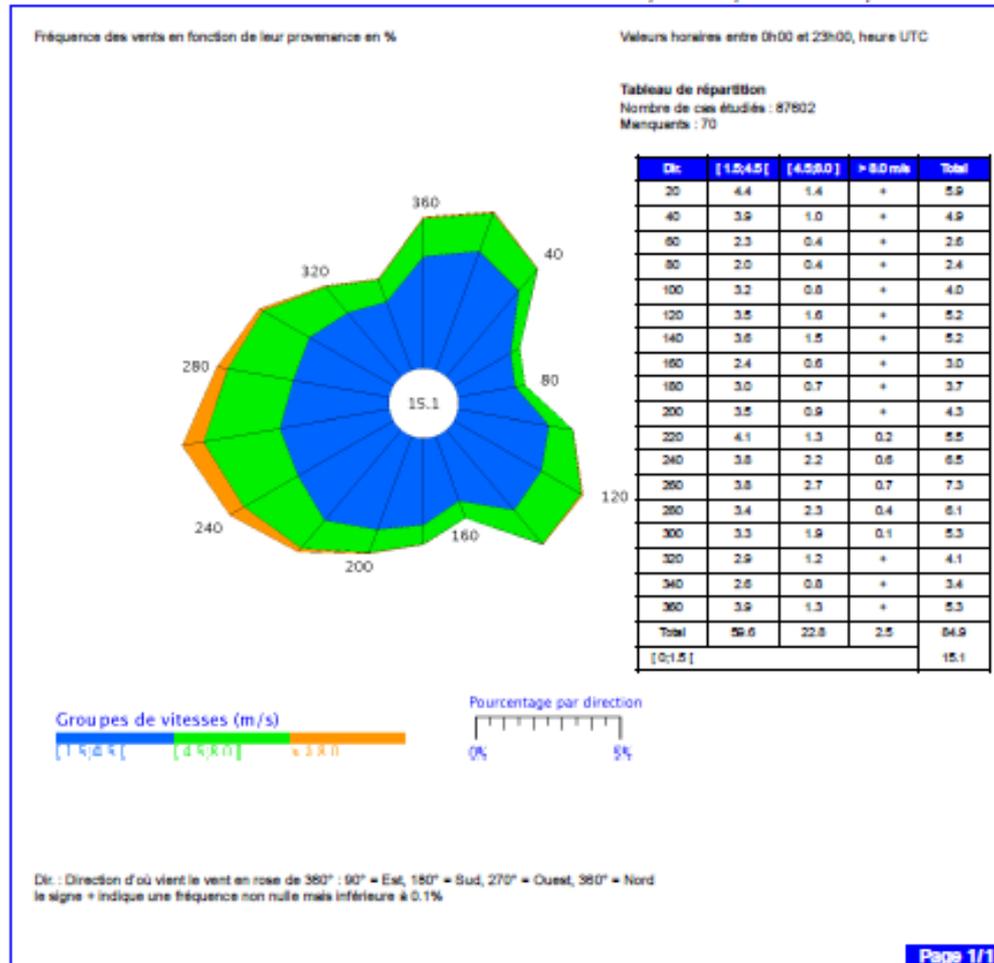
ROSE DES VENTS

Vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 10 mn

Du 01 JANVIER 2000 au 31 DÉCEMBRE 2009

BORDEAUX-MERIGNAC (33)

Indicatif : 33261001, alt : 47 m., lat : 44°49'48"N, lon : 00°41'24"W



Edité le : 17/09/2010 dans l'état de la base

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Direction de la Production
 42 avenue Gustave Coriolis 31057 Toulouse Cedex
 Fax : 05 61 07 80 79 - Email : climattheque@meteo.fr



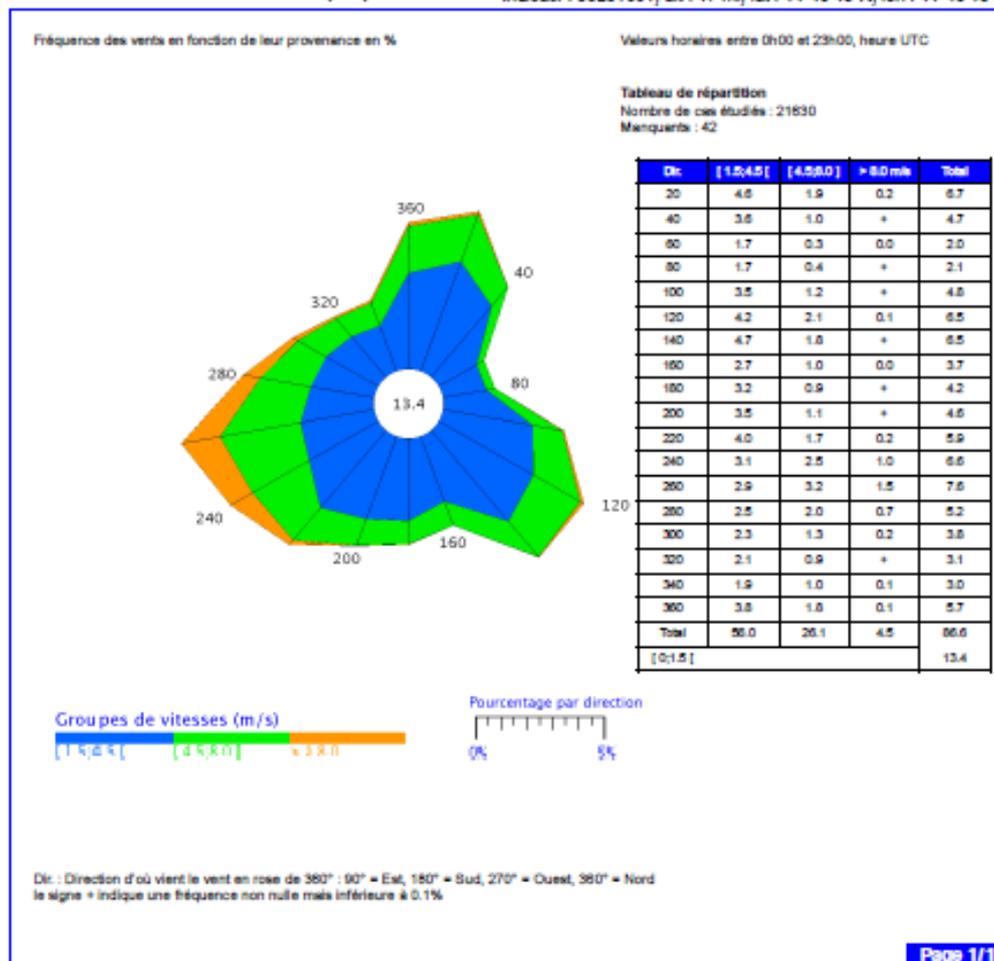
ROSE DES VENTS

Vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 10 mn

Période 2000-2009 – Mois de JANVIER à MARS

BORDEAUX-MERIGNAC (33)

Indicatif : 33281001, alt : 47 m, lat : 44°49'48"N, lon : 44°49'48"E



N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Direction de la Production
 42 avenue Gustave Coriolis 31057 Toulouse Cedex
 Fax : 05 61 07 80 79 – Email : climat@meteo.fr



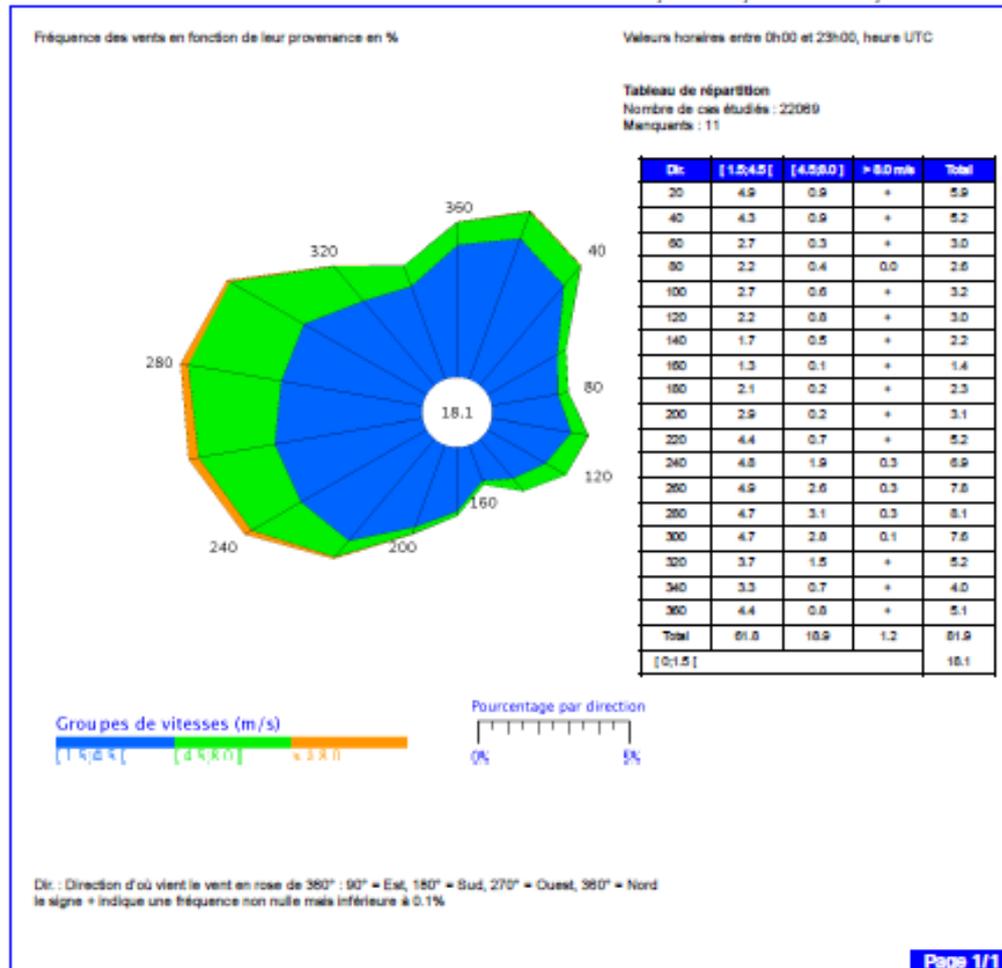
ROSE DES VENTS

Vent horaire à 10 mètres, moyenné sur 10 mn

Période 2000-2009 – Mois de JUILLET à SEPTEMBRE

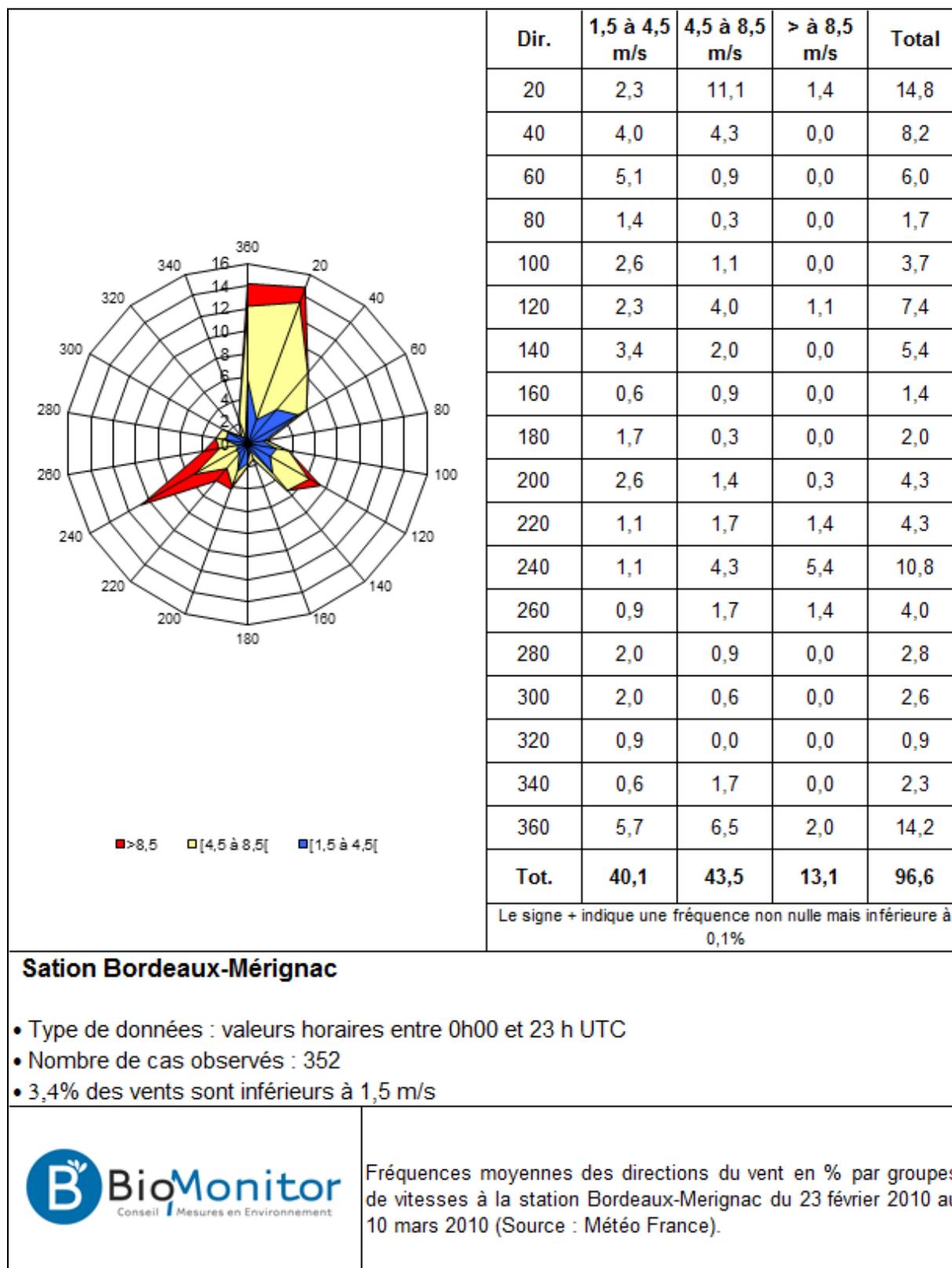
BORDEAUX-MERIGNAC (33)

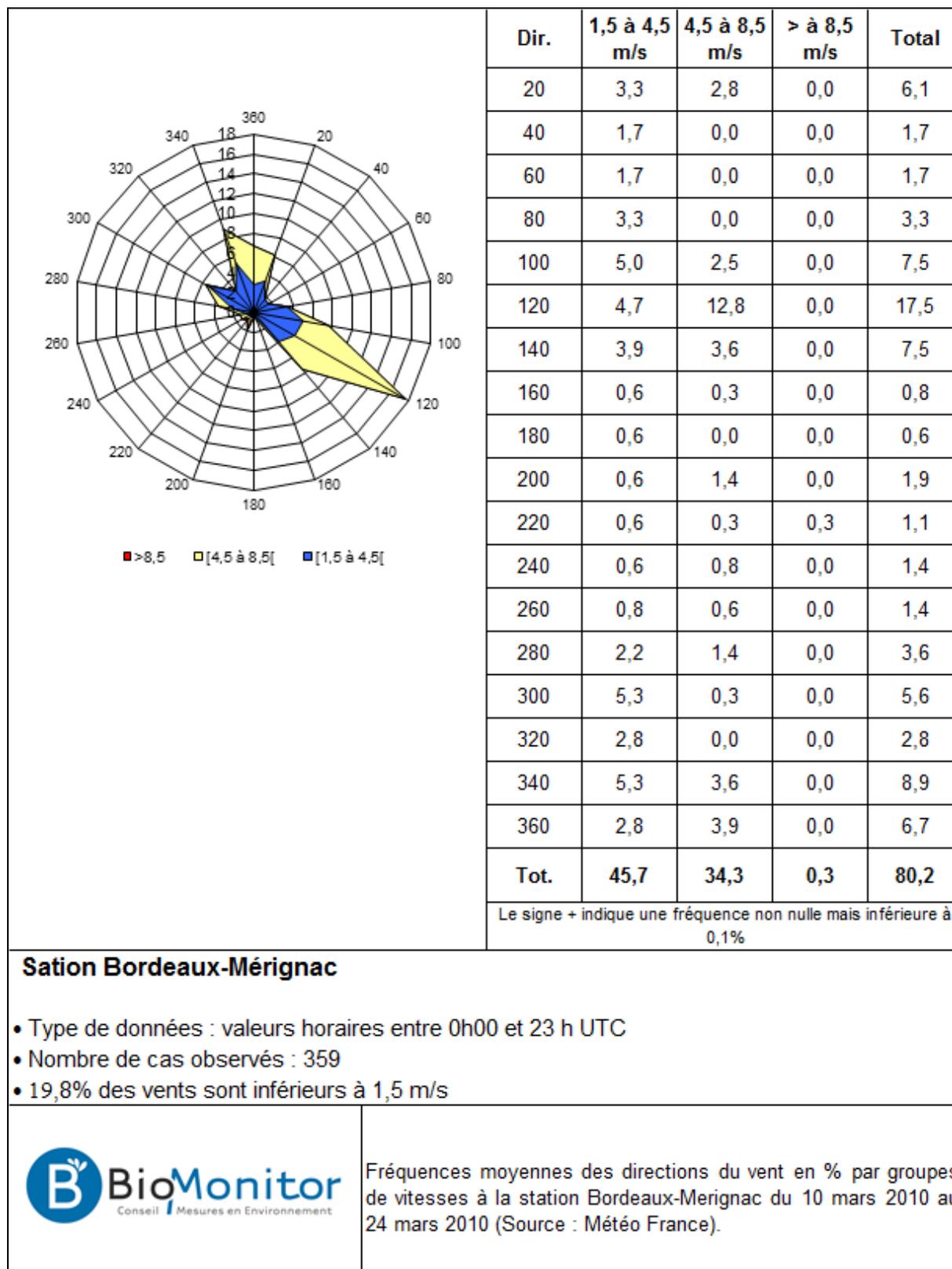
Indicatif : 33281001, alt : 47 m., lat : 44°40'48"N, lon : 44°40'48"E

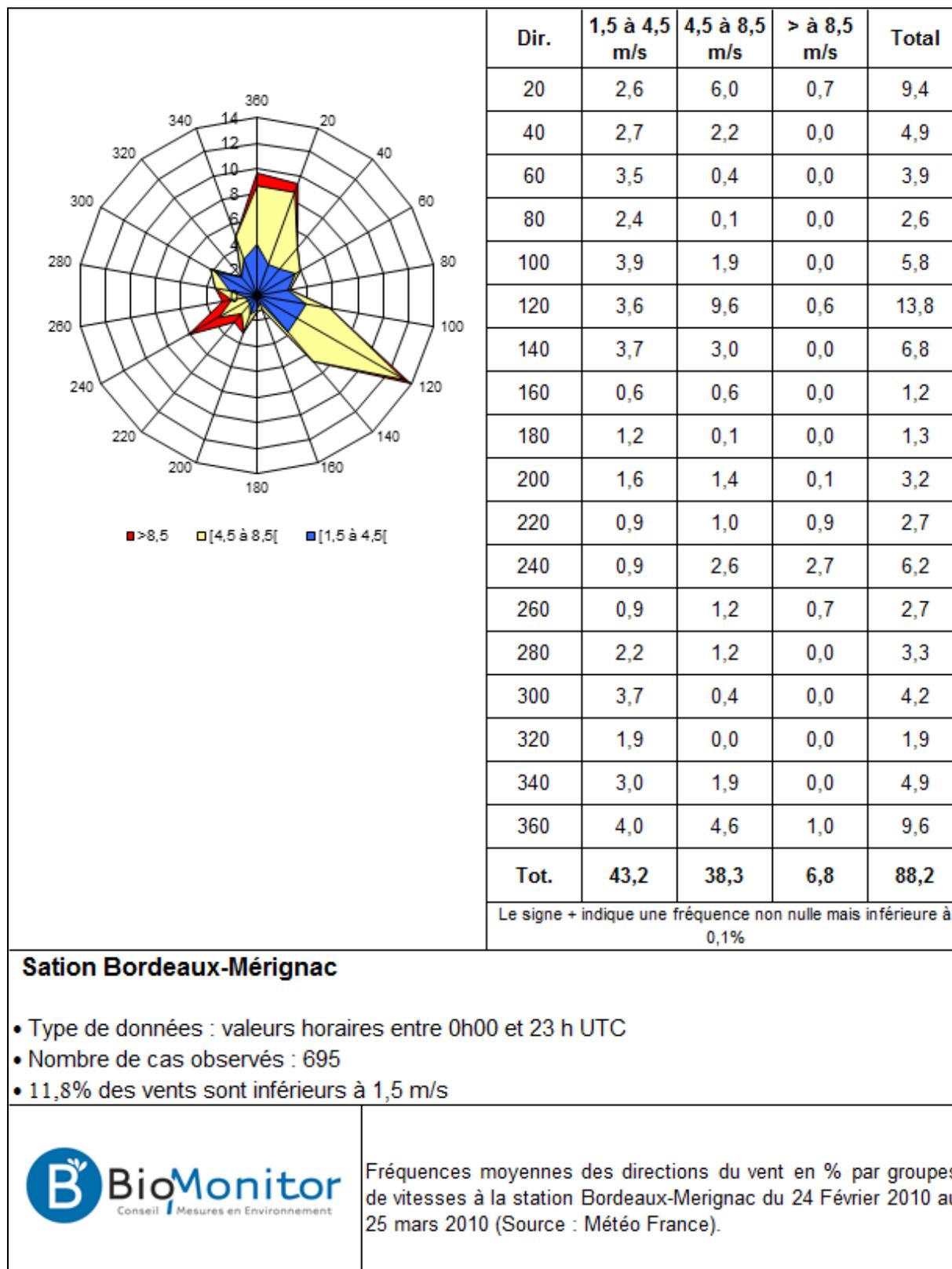


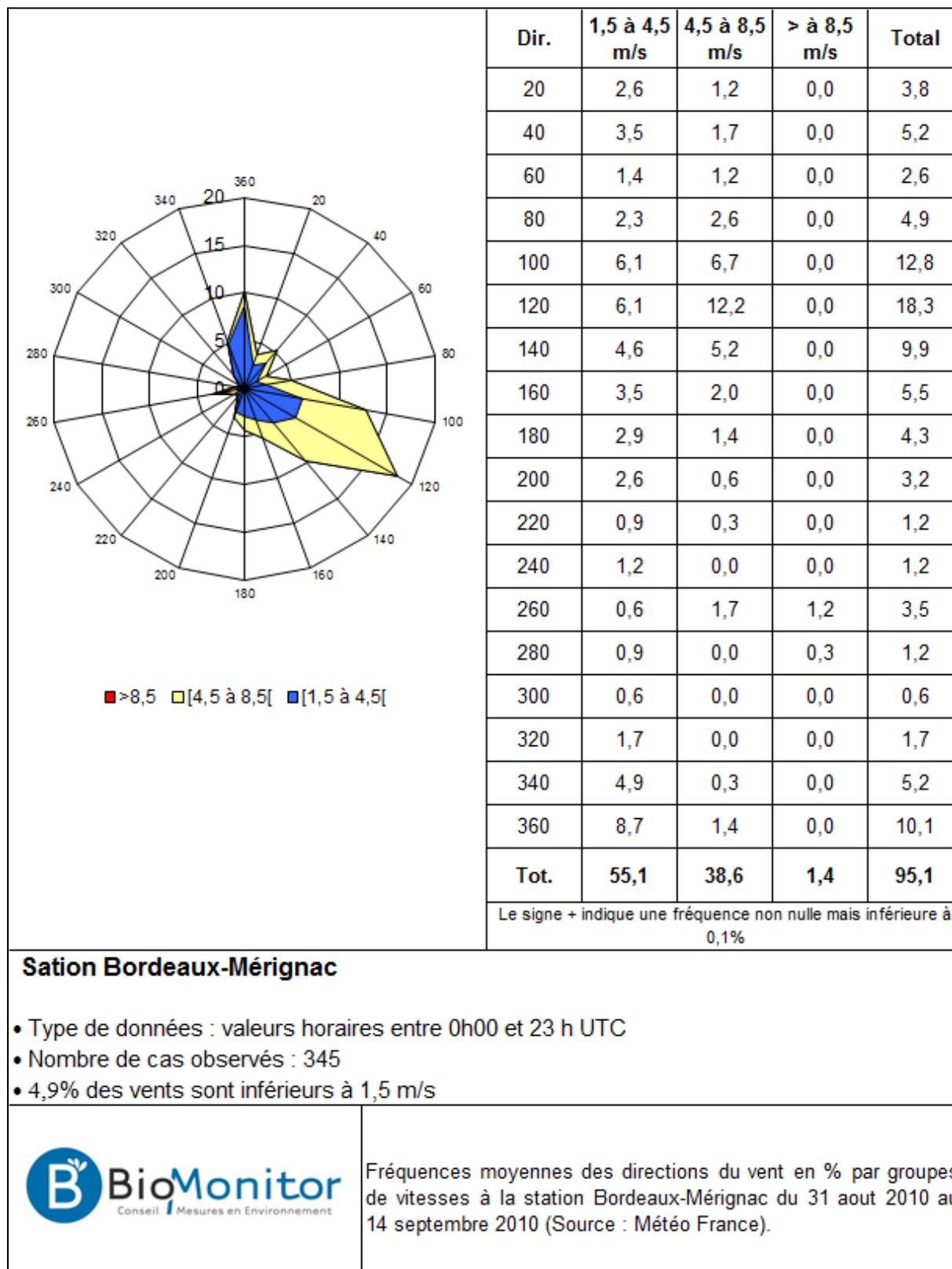
N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

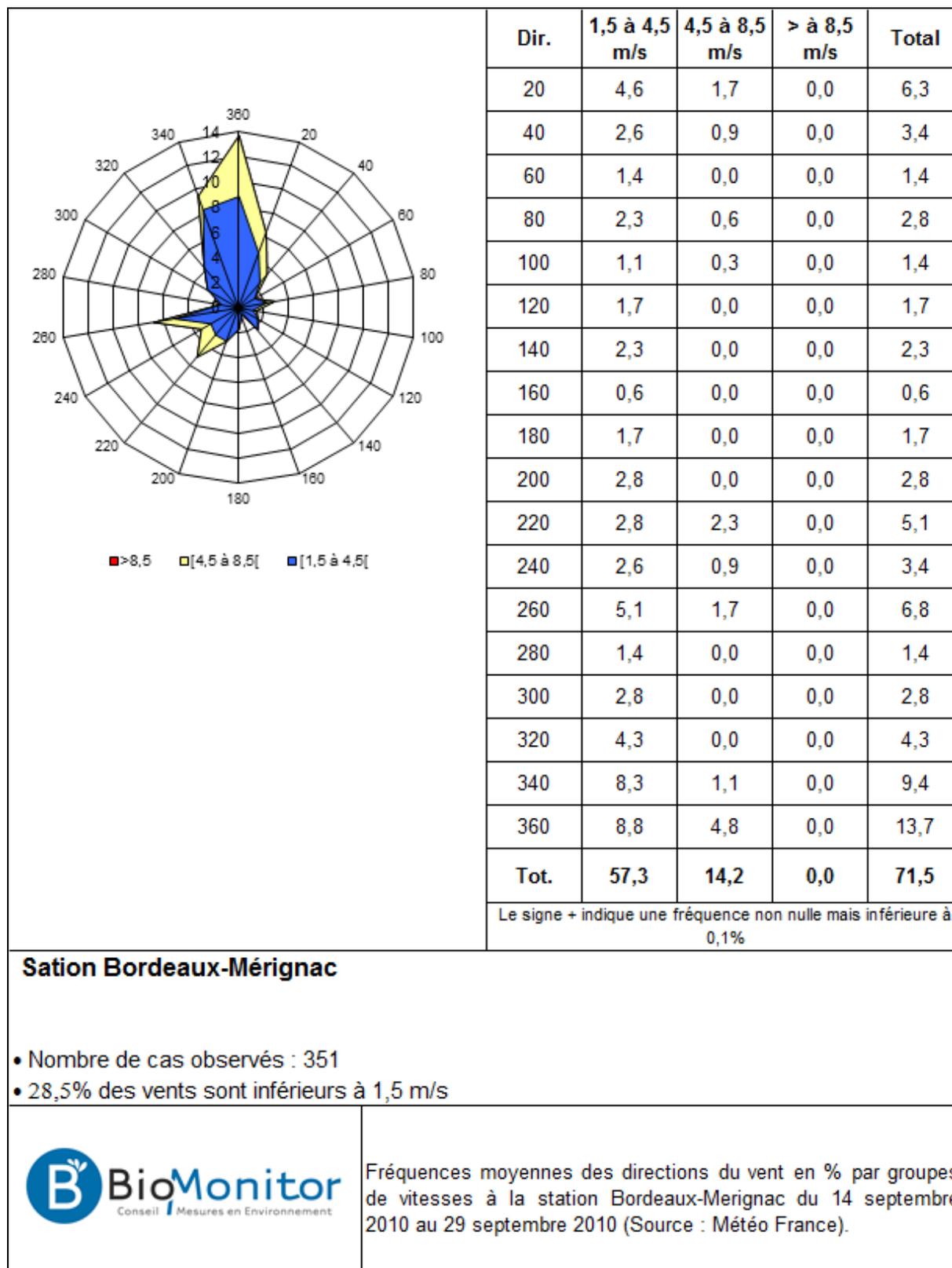
Direction de la Production
42 avenue Gustave Coriolis 31057 Toulouse Cedex
Fax : 05 61 07 80 79 – Email : climat@meteo.fr

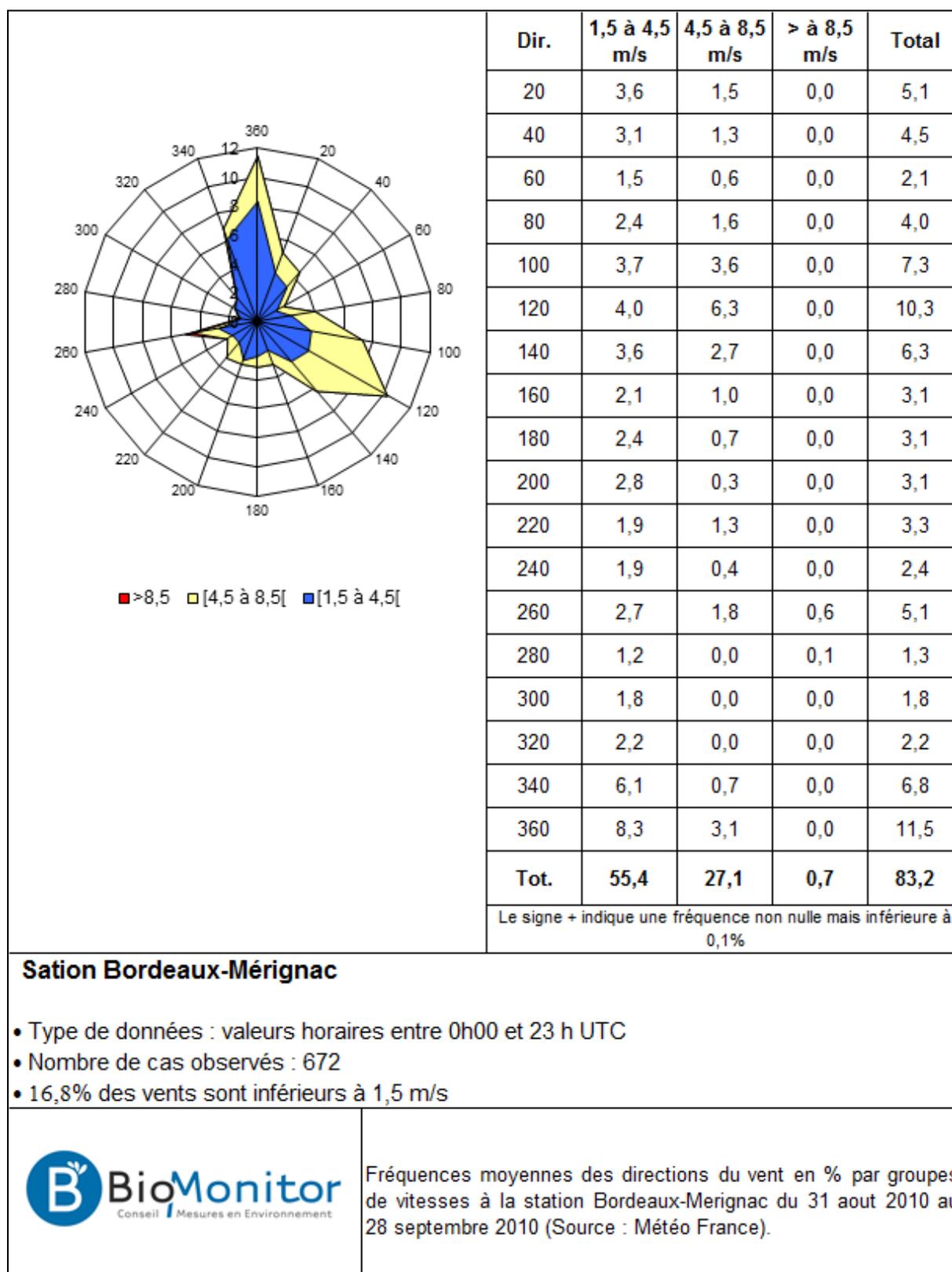












ANNEXE A-5**Résultats détaillés des mesures de poussières en suspension PM2,5****Résultats détaillé des mesures de poussières en suspension PM2,5 lors de la première campagne de mesure sur le point 18 (Stade Pessac)**

Référence filtre	Date de début	Heure de début	Date de fin	Heure de fin	Concentration PM2,5 (ug/m3)	Taux d'exposition (%)
ENV 919	24/02/2010	08:30	25/02/2010	08:30	14	4
ENV 920	25/02/2010	08:30	26/02/2010	08:30	7	33
ENV 921	26/02/2010	08:30	27/02/2010	08:30	12	8
ENV 922	27/02/2010	08:30	28/02/2010	08:30	8	4
ENV 923	28/02/2010	08:30	01/03/2010	08:30	17	4
ENV 924	01/03/2010	08:30	02/03/2010	08:30	16	54
ENV 925	02/03/2010	08:30	03/03/2010	08:30	11	0
ENV 926	03/03/2010	08:30	04/03/2010	08:30	14	0
ENV 927	04/03/2010	08:30	05/03/2010	08:30	23	0
ENV 928	05/03/2010	08:30	06/03/2010	08:30	7	0
ENV 929	06/03/2010	08:30	07/03/2010	08:30	10	0
ENV 930	07/03/2010	08:30	08/03/2010	08:30	24	0
ENV 931	08/03/2010	08:30	09/03/2010	08:30	17	0
ENV 932	09/03/2010	08:30	10/03/2010	08:30	23	0
ENV 933	10/03/2010	12:57	11/03/2010	08:30	29	0
LECES 28890	11/03/2010	08:30	12/03/2010	08:30	60	0
LECES 28891	12/03/2010	08:30	13/03/2010	08:30	52	4
LECES 28892	13/03/2010	08:30	14/03/2010	08:30	50	0
LECES 28893	14/03/2010	08:30	15/03/2010	08:30	24	0
LECES 28894	15/03/2010	08:30	16/03/2010	08:30	32	4
LECES 28895	16/03/2010	08:30	17/03/2010	08:30	29	0
LECES 28896	17/03/2010	08:30	18/03/2010	08:30	27	0
LECES 28897	18/03/2010	08:30	19/03/2010	08:30	14	21
LECES 28898	19/03/2010	08:30	20/03/2010	08:30	18	13
LECES 28899	20/03/2010	08:30	21/03/2010	08:30	14	13
LECES 28900	21/03/2010	08:30	22/03/2010	08:30	14	0
LECES 28901	22/03/2010	08:30	23/03/2010	08:30	16	0
LECES 28902	23/03/2010	08:30	24/03/2010	08:30	16	0
LECES 28903	24/03/2010	08:30	25/03/2010	08:30	17	0

Résultats détaillé des mesures de poussières en suspension PM2,5 lors de la deuxième campagne de mesure sur le point 18 (Stade Pessac)

Référence filtre	Date de début	Heure de début	Date de fin	Heure de fin	Concentration PM2,5 (ug/m3)	Taux d'exposition (%)
LECES 31659	31/08/2010	17:00	01/09/2010	17:00	3	13
LECES 31660	01/09/2010	17:00	02/09/2010	17:00	9	25
LECES 31661	02/09/2010	17:00	03/09/2010	17:00	10	21
LECES 31662	03/09/2010	17:00	04/09/2010	17:00	2	25
LECES 31663	04/09/2010	17:00	05/09/2010	17:00	5	33
LECES 31664	05/09/2010	17:00	06/09/2010	17:00	6	8
LECES 31665	06/09/2010	17:00	07/09/2010	17:00	5	0
LECES 31666	07/09/2010	17:00	08/09/2010	17:00	4	0
LECES 31667	08/09/2010	17:00	09/09/2010	17:00	7	0
LECES 31668	09/09/2010	17:00	10/09/2010	17:00	6	8
LECES 31669	10/09/2010	17:00	11/09/2010	17:00	7	0
LECES 31670	11/09/2010	17:00	12/09/2010	17:00	6	0
LECES 31671	12/09/2010	17:00	13/09/2010	17:00	8	0
LECES 31672	13/09/2010	17:00	14/09/2010	17:00	10	0
LECES 31673	14/09/2010	17:00	15/09/2010	17:00	7	0
LECES 34902	15/09/2010	17:00	16/09/2010	17:00	11	4
LECES 34903	16/09/2010	17:00	17/09/2010	17:00	3	0
LECES 34904	17/09/2010	17:00	18/09/2010	17:00	7	0
LECES 34905	18/09/2010	17:00	19/09/2010	17:00	5	33
LECES 34906	19/09/2010	17:00	20/09/2010	17:00	7	0
LECES 34907	20/09/2010	17:00	21/09/2010	17:00	15	0
LECES 34908	21/09/2010	17:00	22/09/2010	17:00	17	0
LECES 34909	22/09/2010	17:00	23/09/2010	17:00	7	33

Résultats détaillé des mesures de poussières en suspension PM2,5 lors de la première campagne de mesure sur le point n°38 (Résidence Médecis)

Référence filtre	Date de début	Heure de début	Date de fin	Heure de fin	Concentration PM2,5 (ug/m3)	Taux d'exposition (%)
ENV 934	24/02/2010	08:54	25/02/2010	08:30	11	0
ENV 935	25/02/2010	08:30	26/02/2010	08:30	8	4
ENV 936	26/02/2010	08:30	27/02/2010	08:30	11	21
ENV 937	27/02/2010	08:30	28/02/2010	08:30	6	0
ENV 938	28/02/2010	08:30	01/03/2010	08:30	13	17
ENV 939	01/03/2010	08:30	02/03/2010	08:30	7	8
ENV 940	02/03/2010	08:30	03/03/2010	08:30	10	0
ENV 941	03/03/2010	08:30	04/03/2010	08:30	16	33
ENV 942	04/03/2010	08:30	05/03/2010	08:30	28	38
ENV 943	05/03/2010	08:30	06/03/2010	08:30	13	0
ENV 944	06/03/2010	08:30	07/03/2010	08:30	16	0
ENV 945	07/03/2010	08:30	08/03/2010	08:30	28	0
ENV 946	08/03/2010	08:30	09/03/2010	08:30	19	0
ENV 947	09/03/2010	08:30	10/03/2010	08:30	23	0
ENV 948	10/03/2010	11:58	11/03/2010	08:30	23	8
LECES 28920	11/03/2010	08:30	12/03/2010	08:30	79	13
LECES 28921	12/03/2010	08:30	13/03/2010	08:30	51	25
LECES 28922	13/03/2010	08:30	14/03/2010	08:30	50	29
LECES 28923	14/03/2010	08:30	15/03/2010	08:30	22	38
LECES 28924	15/03/2010	08:30	16/03/2010	08:30	22	8
LECES 28925	16/03/2010	08:30	17/03/2010	08:30	24	0
LECES 28926	17/03/2010	08:30	18/03/2010	08:30	23	0
LECES 28927	18/03/2010	08:30	19/03/2010	08:30	13	0
LECES 28928	19/03/2010	08:30	20/03/2010	08:30	14	0
LECES 28929	20/03/2010	08:30	21/03/2010	08:30	11	25
LECES 28930	21/03/2010	08:30	22/03/2010	08:30	10	13
LECES 28931	22/03/2010	08:30	23/03/2010	08:30	13	54
LECES 28932	23/03/2010	08:30	24/03/2010	08:30	13	0
LECES 28933	24/03/2010	08:30	25/03/2010	08:30	11	0

Résultats détaillé des mesures de poussières en suspension PM2,5 lors de la deuxième campagne de mesure sur le point n°38 (Résidence Médecis)

Référence filtre	Date de début	Heure de début	Date de fin	Heure de fin	Concentration PM2,5 (ug/m3)	Taux d'exposition (%)
LECES 31674	31/08/2010	17:00	01/09/2010	17:00	3	13
LECES 31675	01/09/2010	17:00	02/09/2010	17:00	5	0
LECES 31676	02/09/2010	17:00	03/09/2010	17:00	5	0
LECES 34859	03/09/2010	17:00	04/09/2010	17:00	3	13
LECES 34861	04/09/2010	17:00	05/09/2010	17:00	5	33
LECES 34862	05/09/2010	17:00	06/09/2010	17:00	7	4
LECES 34863	06/09/2010	17:00	07/09/2010	17:00	12	0
LECES 34864	07/09/2010	17:00	08/09/2010	17:00	4	0
LECES 34865	08/09/2010	17:00	09/09/2010	17:00	6	0
LECES 34866	09/09/2010	17:00	10/09/2010	17:00	11	0
LECES 34867	Problème passage de filtre					
LECES 34868						
LECES 30006						
LECES 30026						
LECES 34824	14/09/2010	17:00	15/09/2010	17:00	6	38
LECES 34825	15/09/2010	17:00	16/09/2010	17:00	7	21
LECES 34826	16/09/2010	17:00	17/09/2010	17:00	4	4
LECES 34827	17/09/2010	17:00	18/09/2010	17:00	7	33
LECES 34828	18/09/2010	17:00	19/09/2010	17:00	10	25
LECES 34829	19/09/2010	17:00	20/09/2010	17:00	6	29
LECES 34830	20/09/2010	17:00	21/09/2010	17:00	17	0
LECES 34831	21/09/2010	17:00	22/09/2010	17:00	18	4
LECES 34832	22/09/2010	17:00	23/09/2010	17:00	8	4
LECES 34833	23/09/2010	17:00	24/09/2010	17:00	3	4
LECES 34834	24/09/2010	17:00	25/09/2010	17:00	2	29
LECES 34835	25/09/2010	17:00	26/09/2010	17:00	3	25
LECES 34900	26/09/2010	17:00	27/09/2010	17:00	20	8
LECES 30025	27/09/2010	17:00	28/09/2010	17:00	9	0

**Résultats détaillé des mesures de poussières en suspension lors de la première campagne de mesure
sur le point 101 (M. Marlut)**

Référence filtre	Date de début	Heure de début	Date de fin	Heure de fin	Concentration PM2,5 (ug/m3)	Taux d'exposition (%)
ENV 903	24/02/2010	08:30	25/02/2010	08:30	14	0
ENV 904	25/02/2010	08:30	26/02/2010	08:30	9	0
ENV 905	26/02/2010	08:30	27/02/2010	08:30	14	0
ENV 906	27/02/2010	08:30	28/02/2010	08:30	7	0
ENV 907	28/02/2010	08:30	01/03/2010	08:30	20	0
ENV 908	01/03/2010	08:30	02/03/2010	08:30	12	0
ENV 910	02/03/2010	08:30	03/03/2010	08:30	12	0
ENV 911	03/03/2010	08:30	04/03/2010	08:30	15	25
ENV 912	04/03/2010	08:30	05/03/2010	08:30	27	42
ENV 913	05/03/2010	08:30	06/03/2010	08:30	13	0
ENV 914	06/03/2010	08:30	07/03/2010	08:30	19	0
ENV 915	07/03/2010	08:30	08/03/2010	08:30	30	17
ENV 916	08/03/2010	08:30	09/03/2010	08:30	19	25
ENV 917	09/03/2010	08:30	10/03/2010	08:30	24	63
ENV 918	10/03/2010	08:30	11/03/2010	08:30	15	33
LECES 28905	11/03/2010	08:30	12/03/2010	08:30	68	50
LECES 28906	12/03/2010	08:30	13/03/2010	08:30	53	67
LECES 28907	13/03/2010	08:30	14/03/2010	08:30	55	50
LECES 28908	14/03/2010	08:30	15/03/2010	08:30	26	58
LECES 28909	15/03/2010	08:30	16/03/2010	08:30	32	8
LECES 28910	16/03/2010	08:30	17/03/2010	08:30	35	0
LECES 28911	17/03/2010	08:30	18/03/2010	08:30	24	0
LECES 28912	18/03/2010	08:30	19/03/2010	08:30	14	0
LECES 28913	19/03/2010	08:30	20/03/2010	08:30	16	0
LECES 28914	20/03/2010	08:30	21/03/2010	08:30	11	21
LECES 28915	21/03/2010	08:30	22/03/2010	08:30	13	58
LECES 28916	22/03/2010	08:30	23/03/2010	08:30	16	17
LECES 28917	23/03/2010	08:30	24/03/2010	08:30	11	0
LECES 28918	24/03/2010	08:30	25/03/2010	08:30	26	0

Résultats détaillé des mesures de poussières en suspension lors de la deuxième campagne de mesure sur le point 101 (M. Marlut)

Référence filtre	Date de début	Heure de début	Date de fin	Heure de fin	Concentration PM2,5 (ug/m3)	Taux d'exposition (%)
LECES 30010	31/08/2010	19:27	01/09/2010	17:00	2	4
LECES 30011	01/09/2010	17:00	02/09/2010	17:00	4	0
LECES 30012	02/09/2010	17:00	03/09/2010	17:00	8	0
LECES 30013	03/09/2010	17:00	04/09/2010	17:00	9	0
LECES 30014	04/09/2010	17:00	05/09/2010	17:00	9	0
LECES 30015	05/09/2010	17:00	06/09/2010	17:00	11	17
LECES 30016	06/09/2010	17:00	07/09/2010	17:00	1	17
LECES 30017	07/09/2010	17:00	08/09/2010	17:00	2	0
LECES 30018	08/09/2010	17:00	09/09/2010	17:00	3	0
LECES 30019	09/09/2010	17:00	10/09/2010	17:00	5	0
LECES 30020	10/09/2010	17:00	11/09/2010	17:00	7	0
LECES 30021	11/09/2010	17:00	12/09/2010	17:00	5	0
LECES 30022	12/09/2010	17:00	13/09/2010	17:00	5	71
LECES 30023	13/09/2010	17:00	14/09/2010	17:00	5	88
LECES 30024	14/09/2010	17:00	15/09/2010	17:00	7	58
LECES 34917	15/09/2010	17:00	16/09/2010	17:00	9	54
LECES 34918	16/09/2010	17:00	17/09/2010	17:00	5	63
LECES 34919	17/09/2010	17:00	18/09/2010	17:00	10	42
LECES 34920	18/09/2010	17:00	19/09/2010	17:00	8	13
LECES 34921	19/09/2010	17:00	20/09/2010	17:00	9	21
LECES 34922	20/09/2010	17:00	21/09/2010	17:00	13	21
LECES 34923	21/09/2010	17:00	22/09/2010	17:00	14	4
LECES 34924	22/09/2010	17:00	23/09/2010	17:00	15	21
LECES 34925	23/09/2010	17:00	24/09/2010	17:00	13	4
LECES 34926	24/09/2010	17:00	25/09/2010	17:00	5	54
LECES 34928	25/09/2010	17:00	26/09/2010	17:00	5	50
LECES 34929	26/09/2010	17:00	27/09/2010	17:00	9	17
LECES 34930	27/09/2010	17:00	28/09/2010	17:00	12	0

ANNEXE A-6

Bordereaux d'analyses des végétaux et des sols

Légumes	10/A630/09/SA L/95	10/A630/09/T OM/95	10/A630/09/SA L/101	10/A630/09/T OM/101	10/A630/09/SA L/118	10/A630/09/T OM/118	10/A630/09/SA L/122	10/A630/09/T OM/122	10/A630/09/SA L/124	10/A630/09/T OM/124	10/A630/09/SA L/151
Référence interne	BEFI009	BEFI010	BEFI011	BEFI012	BEFI013	BEFI014	BEFI015	BEFI016	BEFI017	BEFI018	BEFI019
Poids frais (g)	52,3	57,4	3,5	54,5	30,5	51,0	36,5	51,8	83,4	62,3	39,6
Poids sec (g)	4,2	4,4	0,3	4,5	2,1	4,4	2,4	3,8	5,4	5,9	2,8
% Eau	92,0	92,3	91,4	91,7	93,1	91,4	93,4	92,7	93,5	90,5	92,9
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**										
As*	0,211	<0,025	<0,025	<0,025	0,087	<0,025	0,115	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Cd*	0,161	0,112	0,116	0,053	0,58	0,08	0,14	0,032	0,065	0,065	0,694
Ba	8,85	0,633	2,89	0,701	5,1	<0,25	10,19	0,544	1,42	0,621	11,04
Eléments	Concentration en mg/Kg de MF**										
As*	0,017	<0,002	<0,002	<0,002	0,006	<0,002	0,008	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cd*	0,013	0,009	0,01	0,004	0,04	0,007	0,009	0,002	0,004	0,006	0,049
Ba	0,711	0,049	0,248	0,058	0,351	<0,022	0,67	0,04	0,092	0,059	0,781

Pour information :

Eléments	Limite de Quantification (mg/kg de MS)
As*, Cd*, Pb*, Hg*	0,025
Cr*, Co, Cu, Mn*, Mo, Ni*, Sb, Sn, Te, Ti, Tl, V	0,125
Se, Zn	0,25
Fe, Al	0,5

Légende : < Valeur : valeur inférieure à la limite de quantification
 Les incertitudes associées aux résultats quantitatifs sont disponibles auprès du laboratoire.
 * analyse couverte par l'accréditation
 ** MB : matière brute
 MF : matière fraîche
 MS : matière sèche.

Légumes	10/A630/09/T OM/151	10/A630/09/SA L/157	10/A630/09/T OM/157	10/A630/09/SA L/149	10/A630/09/T OM/149	10/A630/09/SA L/152	10/A630/09/T OM/152	10/A630/09/SA L/154	10/A630/09/T OM/154	10/A630/09/SA L/156	10/A630/09/T OM/156
Référence interne	BEFI020	BEFI021	BEFI022	BEFI023	BEFI024	BEFI025	BEFI026	BEFI027	BEFI028	BEFI029	BEFI030
Poids frais (g)	43,0	49,0	46,9	31,4	45,8	23,3	44,3	64,0	44,8	56,4	45,2
Poids sec (g)	2,9	2,1	4,7	2,1	4,8	3,6	4,3	4,6	3,9	3,4	2,8
% Eau	93,3	95,7	90,0	93,3	89,5	84,5	90,3	92,8	91,3	94,0	93,8
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**										
As*	<0,025	0,106	<0,025	0,09	<0,025	0,115	<0,025	0,102	<0,025	0,194	0,092
Cd*	0,293	0,414	0,036	0,115	<0,025	1,56	0,076	0,453	0,067	0,367	0,252
Ba	1,61	6,02	0,371	10,05	0,615	26,6	<0,25	5,45	0,536	4,79	0,749
Eléments	Concentration en mg/Kg de MF**										
As*	<0,002	0,005	<0,003	0,006	<0,003	0,018	<0,002	0,007	<0,002	0,012	0,006
Cd*	0,02	0,018	0,004	0,008	<0,013	0,241	0,007	0,033	0,006	0,022	0,016
Ba	0,109	0,258	0,037	0,672	0,064	4,11	<0,024	0,392	0,047	0,289	0,046

Pour information :

Eléments	Limite de Quantification (mg/kg de MS)
As*, Cd*, Pb*, Hg*	0,025
Cr*, Co, Cu, Mn*, Mo, Ni*, Sb, Sn, Te, Ti, Tl, V	0,125
Se, Zn	0,25
Fe, Al	0,5

Légende : < Valeur : valeur inférieure à la limite de quantification
 Les incertitudes associées aux résultats quantitatifs sont disponibles auprès du laboratoire.
 * analyse couverte par l'accréditation
 ** MB : matière brute
 MF : matière fraîche
 MS : matière sèche.

Légumes	10/A630/09/SA L/95	10/A630/09/T OM/95	10/A630/09/SA L/101	10/A630/09/T OM/101	10/A630/09/SA L/118	10/A630/09/T OM/118	10/A630/09/SA L/122	10/A630/09/T OM/122	10/A630/09/SA L/124	10/A630/09/T OM/124	10/A630/09/SA L/151
Référence interne	BEFI009	BEFI010	BEFI011	BEFI012	BEFI013	BEFI014	BEFI015	BEFI016	BEFI017	BEFI018	BEFI019
Poids frais (g)	52,3	57,4	3,5	54,5	30,5	51,0	36,5	51,8	83,4	62,3	39,6
Poids sec (g)	4,2	4,4	0,3	4,5	2,1	4,4	2,4	3,8	5,4	5,9	2,8
% Eau	92,0	92,3	91,4	91,7	93,1	91,4	93,4	92,7	93,5	90,5	92,9
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**										
Hg*	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Eléments	Concentration en mg/Kg de MF**										
Hg*	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Référence externe	10/A630/09/T OM/151	10/A630/09/SA L/157	10/A630/09/T OM/157	10/A630/09/SA L/149	10/A630/09/T OM/149	10/A630/09/SA L/152	10/A630/09/T OM/152	10/A630/09/SA L/154	10/A630/09/T OM/154	10/A630/09/SA L/156	10/A630/09/T OM/156
Référence interne	BEFI020	BEFI021	BEFI022	BEFI023	BEFI024	BEFI025	BEFI026	BEFI027	BEFI028	BEFI029	BEFI030
Poids frais (g)	43,0	49,0	46,9	31,4	45,8	23,3	44,3	64,0	44,8	56,4	45,2
Poids sec (g)	2,9	2,1	4,7	2,1	4,8	3,6	4,3	4,6	3,9	3,4	2,8
% Eau	93,3	95,7	90,0	93,3	89,5	84,5	90,3	92,8	91,3	94,0	93,8
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**										
Hg*	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	0,026	<0,025
Eléments	Concentration en mg/Kg de MF**										
Hg*	<0,002	<0,001	<0,003	<0,002	<0,003	<0,004	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	<0,002

Pour information :

Eléments	Limite de Quantification (mg/kg de MS)
Hg*	0,025

Légende : < Valeur : valeur inférieure à la limite de quantification

* analyse couverte par l'accréditation

** MB : matière brute

MF : matière fraîche
MS : matière sèche.

Légumes	10/A630/09/POI/9 5 - Légumes	10/A630/09/RAD/ 118 - Légumes	10/A630/09/POI/1 24 - Légumes	10/A630/09/RAD/ 151 - Légumes	10/A630/09/POI/1 57 - Légumes	10/A630/09/RAD/ 149 - Légumes	10/A630/09/RAD/ 152 - Légumes	10/A630/09/POI/1 54 - Légumes	10/A630/09/POI/1 56 - Légumes
Référence interne	BEFI031	BEFI032	BEFI033	BEFI034	BEFI035	BEFI036	BEFI037	BEFI038	BEFI039
Poids frais (g)	40,1	30,1	33,3	30,5	35,0	28,2	33,9	36,4	25,3
Poids sec (g)	2,5	2,1	3,4	1,9	4,3	2,1	2,0	5,5	2,2
% Eau	93,8	93,0	89,8	93,8	87,7	92,6	94,1	84,9	91,3
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**								
As*	0,055	0,224	0,038	0,073	0,025	0,073	0,112	0,042	0,035
Cd*	0,11	0,083	0,05	0,108	0,084	0,054	0,081	0,068	0,051
Ba	4,37	5,14	4,43	17,72	4,15	9,33	16,32	2,55	0,976
Eléments	Concentration en mg/Kg de MF**								
As*	0,003	0,016	0,004	0,005	0,003	0,005	0,007	0,006	0,003
Cd*	0,007	0,006	0,005	0,007	0,01	0,004	0,005	0,01	0,004
Ba	0,272	0,359	0,452	1,1	0,51	0,695	0,963	0,385	0,085

Pour information :

Eléments	Limite de Quantification (mg/kg de MS)
As*, Cd*, Pb*, Hg*	0,025
Cr*, Co, Cu, Mn*, Mo, Ni*, Sb, Sn, Te, Ti, Tl, V	0,125
Se, Zn	0,25
Fe, Al	0,5

Légende : < Valeur : valeur inférieure à la limite de quantification
Les incertitudes associées aux résultats quantitatifs sont disponibles auprès du laboratoire.
* analyse couverte par l'accréditation
** MB : matière brute
MF : matière fraîche
MS : matière sèche.

Légumes	10/A 630/09/POI/9 5 - Légumes	10/A 630/09/RAD/ 118 - Légumes	10/A 630/09/POI/1 24 - Légumes	10/A 630/09/RAD/ 151 - Légumes	10/A 630/09/POI/1 57 - Légumes	10/A 630/09/RAD/ 149 - Légumes	10/A 630/09/RAD/ 152 - Légumes	10/A 630/09/POI/1 54 - Légumes	10/A 630/09/POI/1 56 - Légumes
Référence interne	BEFI031	BEFI032	BEFI033	BEFI034	BEFI035	BEFI036	BEFI037	BEFI038	BEFI039
Poids frais (g)	40,1	30,1	33,3	30,5	35,0	28,2	33,9	36,4	25,3
Poids sec (g)	2,5	2,1	3,4	1,9	4,3	2,1	2,0	5,5	2,2
% Eau	93,8	93,0	89,8	93,8	87,7	92,6	94,1	84,9	91,3
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**								
Hg*	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Eléments	Concentration en mg/Kg de MF**								
Hg*	<0,002	<0,002	<0,003	<0,002	<0,003	<0,002	<0,001	<0,004	<0,002

Pour information :

Eléments	Limite de Quantification (mg/kg de MS)
Hg*	0,025

Légende : < Valeur : valeur inférieure à la limite de quantification

* analyse couverte par l'accréditation

** MB : matière brute

MF : matière fraîche

MS : matière sèche.

Sol	10/630/09/S/95	10/630/09/S/18	10/630/09/S/101	10/630/09/S/45	10/630/09/S/118	10/630/09/S/73	10/630/09/S/122	10/630/09/S/84	10/630/09/S/124	10/630/09/S/93	10/630/09/S/151
Référence interne	BEFI040	BEFI041	BEFI042	BEFI043	BEFI044	BEFI045	BEFI046	BEFI047	BEFI048	BEFI049	BEFI050
teneur en matière sèche en %	96,0	95,9	91,2	91,5	97,3	91,9	84,5	83,5	93,2	96,9	94,0
% Eau	4,0	4,1	8,8	8,5	2,7	8,1	15,5	16,5	6,8	3,1	6,0
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**										
As	10,14	5,12	6,14	6,64	6,78	6,72	5,57	18,67	8,95	4,52	5,17
Cd	<0,2	0,316	0,3	<0,2	0,38	<0,2	0,222	0,513	0,457	<0,2	0,74
Ba	38,33	63,8	89,04	47,82	200,5	30,91	115,9	74,94	136,1	29,96	107,1
Eléments	Concentration en mg/Kg de MB**										
As	9,73	4,91	5,61	6,08	6,6	6,17	4,71	15,58	8,35	4,37	4,86
Cd	<0,2	0,303	0,274	<0,2	0,37	<0,2	<0,2	0,428	0,426	<0,2	0,696
Ba	36,78	61,17	81,24	43,78	195	28,39	98	62,57	126,9	29,02	100,6

Sol	10/630/09/S/158	10/630/09/S/157	10/630/09/S/160	10/630/09/S/149	10/630/09/S/19	10/630/09/S/152	10/630/09/S/43	10/630/09/S/154	10/630/09/S/130	10/630/09/S/156	10/630/09/S/161
Référence interne	BEFI051	BEFI052	BEFI053	BEFI054	BEFI055	BEFI056	BEFI057	BEFI058	BEFI059	BEFI060	BEFI061
teneur en matière sèche en %	97,4	90,6	98,0	90,9	92,9	92,2	92,0	88,2	94,2	94,8	89,0
% Eau	2,6	9,4	2,0	9,1	7,1	7,8	8,0	11,8	5,8	5,2	11,0
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**										
As	5,18	7,77	5,86	6,89	6,99	5,57	3,98	6,13	23,17	9,92	3,53
Cd	0,392	1,04	<0,2	0,404	0,248	0,236	<0,2	0,399	1,44	0,479	<0,2
Ba	34,57	155,4	37,08	157,6	33,99	48,61	30,93	59,99	134,9	72,96	18,93
Eléments	Concentration en mg/Kg de MB**										
As	5,05	7,04	5,74	6,27	6,5	5,14	3,67	5,4	21,81	9,4	3,14
Cd	0,382	0,94	<0,2	0,368	0,231	0,218	<0,2	0,352	1,36	0,454	<0,2

Ba	33,68	140,8	36,32	143,3	31,59	44,8	28,47	52,89	127	69,16	16,85
----	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-----	-------	-------

Sol	10/630/09/S/95	10/630/09/S/18	10/630/09/S/101	10/630/09/S/45	10/630/09/S/118	10/630/09/S/73	10/630/09/S/122	10/630/09/S/84	10/630/09/S/124	10/630/09/S/93	10/630/09/S/151
Référence interne	BEFI040	BEFI041	BEFI042	BEFI043	BEFI044	BEFI045	BEFI046	BEFI047	BEFI048	BEFI049	BEFI050
teneur en matière sèche en %	96,0	95,9	91,2	91,5	97,3	91,9	84,5	83,5	93,2	96,9	94,0
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**										
Hg*	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,251	<0,2	<0,2
Eléments	Concentration en mg/Kg de MB**										
Hg*	<0,19	<0,19	<0,18	<0,18	<0,19	<0,18	<0,17	<0,17	0,234	<0,19	<0,19
Sol	10/630/09/S/158	10/630/09/S/157	10/630/09/S/160	10/630/09/S/149	10/630/09/S/19	10/630/09/S/152	10/630/09/S/43	10/630/09/S/154	10/630/09/S/130	10/630/09/S/156	10/630/09/S/161
Référence interne	BEFI051	BEFI052	BEFI053	BEFI054	BEFI055	BEFI056	BEFI057	BEFI058	BEFI059	BEFI060	BEFI061
teneur en matière sèche en %	97,4	90,6	98,0	90,9	92,9	92,2	92,0	88,2	94,2	94,8	89,0
Eléments	Concentration en mg/Kg de MS**										
Hg*	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,402	<0,2	<0,2
Eléments	Concentration en mg/Kg de MB**										
Hg*	<0,19	<0,18	<0,2	<0,18	<0,19	<0,18	<0,18	<0,18	0,378	<0,19	<0,18

Pour information

Eléments	LQ (mg/kg de MS)
Hg*	0,2

Légende : < Valeur : valeur inférieure à la limite de quantification
* : analyse couverte par l'accréditation

ANNEXE A-7 (ORIGINE CAP ENVIRONNEMENT)

Concentrations simulées aux points spécifiques

Tableau A-1 : Présentation des concentrations moyennes annuelles imputables aux émissions de la rocade simulées aux points spécifiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Dioxyde d'azote	Particules diesel	Chrome
Situation actuelle			
PS 18	20,8	1,35	$3,15.10^{-4}$
PS 38	15,8	0,97	$2,25.10^{-4}$
PS101	22,5	1,89	$3,64.10^{-4}$
Situation « 2020 fil de l'eau »			
PS 18	12,6	0,77	$3,04.10^{-4}$
PS 38	12,2	0,70	$2,53.10^{-4}$
PS101	19,3	1,54	$4,39.10^{-4}$
Situation « 2020 2 *3 voies»			
PS 18	13,0	0,80	$3,10.10^{-4}$
PS 38	13,6	0,80	$2,78.10^{-4}$
PS101	21,9	1,89	$5,00.10^{-4}$

Tableau A-2 : Présentation du percentile 100 imputable aux émissions de la rocade simulées aux points spécifiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Dioxyde d'azote
Situation actuelle	
PS 18	82,0
PS 38	68,0
PS101	79,4
Situation « 2020 fil de l'eau »	
PS 18	66,4
PS 38	58,9
PS101	74,8
Situation « 2020 2*3 voies »	
PS 18	67,3
PS 38	62,9
PS101	78,4

Tableau A-3 : Présentation des concentrations moyennes annuelles imputables aux émissions de la rocade et au bruit de fond simulées aux points spécifiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Dioxyde d'azote	Particules diesel
Situation actuelle		
PS 18	40,5	25,5
PS 38	36,3	25,2
PS101	40,0	25,9
Situation « 2020 fil de l'eau »		
PS 18	34,2	24,9
PS 38	34,0	24,5
PS101	37,8	25,4
Situation « 2020 2*3 voies »		
PS 18	34,2	24,9
PS 38	34,1	24,8
PS101	37,9	25,4

Tableau A-4 : Présentation du percentile 100 imputable aux émissions de la rocade et au bruit de fond simulées aux points spécifiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Dioxyde d'azote
Situation actuelle	
PS 18	201,0
PS 38	189,0
PS101	186,0
Situation « 2020 fil de l'eau »	
PS 18	192,0
PS 38	188,0
PS101	187,0
Situation « 2020 2*3 voies »	
PS 18	192,0
PS 38	188,0
PS101	188,0

ANNEXE A-8

Données de consommation humaine

L'étude de l'alimentation totale française (mai 2004) permet de connaître la contamination des aliments ingérés aux mycotoxines, minéraux et éléments traces présents dans les aliments "tels que consommés". Réalisée à l'initiative de la Direction générale de l'alimentation (DGAL) du Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales et de l'Inra, avec la collaboration de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa), elle dresse un bilan du niveau de consommation ou d'exposition de la population française aux mycotoxines, minéraux et éléments traces présents dans les aliments "tels que consommés". Selon cette étude, la ration alimentaire quotidienne n'entraîne pas de dépassement des doses journalières/hebdomadaires admissibles (DJA/DHA) pour les paramètres analysés.

Les données utilisées sont présentées dans le **tableau A-1**.

Tableau A-1 : Concentration moyenne (mg/kg de poids frais) des aliments tels que consommés.

Groupe Aliment	As	Ba	Cd	Hg
Lait	3.10^{-3}	0	4.10^{-4}	3.10^{-3}
Ultra frais laitiers	3.10^{-3}	0	4.10^{-4}	3.10^{-3}
Fromage	3.10^{-3}	0	4.10^{-4}	3.10^{-3}
Beurre	0,051	0	4.10^{-4}	3.10^{-3}
Produits laitiers	0,019	0	4.10^{-4}	3.10^{-3}
Œufs et dérivés	8.10^{-3}	0	4.10^{-4}	4.10^{-3}
Viandes	9.10^{-3}	0	1.10^{-3}	3.10^{-3}
Charcuterie	0,032	0	$6,3.10^{-3}$	4.10^{-3}
Viandes	0,021	0	$3,7.10^{-3}$	7.10^{-3}
Volailles et gibier	0,022	0	$1,9.10^{-3}$	5.10^{-3}
Pommes de terre	0,017	0	0,0109	7.10^{-3}
Poissons	2,237	0	0,0016	0,062
Crustacés	1,926	0	0,0827	0,017
Poissons et crustacés	2,082	0	0,0422	0,040
Pain, Biscottes	4.10^{-3}	0	$4,8.10^{-3}$	0,013
Céréales pdj	4.10^{-3}	0	$1,7.10^{-3}$	0,010
Pâtes	3.10^{-3}	0	$2,2.10^{-3}$	3.10^{-3}
Riz et semoule	0,016	0	$3,2.10^{-3}$	5.10^{-3}
Autres céréales	4.10^{-3}	0	$7,5.10^{-3}$	0,013
Céréales	$6,2.10^{-3}$	0	$3,88.10^{-3}$	$8,80.10^{-3}$

CIBLEX :

La base Ciblex (dernière version : 27 avril 2004) indique notamment les quantités à prendre en compte dans les scenarii d'ingestion.

Afin de caractériser la population française en relation avec la gestion des sites pollués par des substances aussi bien chimiques que radioactives, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) et l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) ont établi une convention d'étude, dénommée « Ciblex ».

Cette collaboration s'est concrétisée par une banque de données informatique compilant les paramètres descriptifs de la population française (âge, sexe, budgets espace-temps, consommations alimentaires, ...) en fonction de l'occupation des sols (zones continentales, surfaces en eaux, ...) et de l'usage type (résidentiel, professionnel, récréatif, ...) des zones potentiellement concernées par la pollution d'un site. L'échelle spatiale minimale décrite est le département.

La banque de données Ciblex autorise deux modes de consultation des données :

- un accès aux données brutes par domaines (occupation du sol, budgets espaces temps, consommation alimentaires, ...), pour chaque département ou au niveau national,
- un assistant à la construction de scénario qui, dans le cadre d'une évaluation de risques, permet à l'utilisateur de se focaliser sur un groupe de référence et d'extraire les paramètres d'exposition discriminants compte tenu du type de site qu'il considère et de l'usage qui en est fait par ce groupe.

La banque de données Ciblex constitue un outil consultatif qui s'adresse en priorité aux experts impliqués dans les évaluations de risques associées à la gestion des sites pollués par des substances chimiques ou radioactives.

Les données utilisées sont présentées dans le **tableau A-2**.

Tableau A-2 : Ration alimentaire journalière par classe d'âge pour la France entière [ADEME/IRSN, 2004 ; AFSSA/CRÉDOC/DGAL, 1999]

Age (années)	[1 an ; 2 ans[[2 ans ; 7 ans[[7 ans ; 12 ans[[12 ans ; 17 ans[[17 an ; 60 ans[[61 ans et plus[
Quantité de légumes-feuilles ingérée (kg/jour)	$5,33.10^{-2}$	$1,19.10^{-2}$	$3,31.10^{-2}$	$3,04.10^{-2}$	$4,26.10^{-2}$	$6,93.10^{-2}$
Quantité de légumes-fruits ingérée (kg/jour)	$1,14.10^{-1}$	$1,19.10^{-1}$	$1,34.10^{-1}$	$1,44.10^{-1}$	$1,98.10^{-1}$	$2,67.10^{-1}$
Quantité de légumes-racines ingérée (kg/jour)	$3,45.10^{-2}$	$1,72.10^{-2}$	$2,03.10^{-2}$	$2,84.10^{-2}$	$2,73.10^{-2}$	$3,41.10^{-2}$
Quantité de pommes de terre ingérée (kg/jour)	$6,97.10^{-2}$	$4,82.10^{-2}$	$7,01.10^{-2}$	$6,50.10^{-2}$	$5,81.10^{-2}$	$4,14.10^{-2}$
Quantité de céréales ingérée (kg/jour)	$4,89.10^{-2}$	$9,60.10^{-2}$	$1,95.10^{-1}$	$1,72.10^{-1}$	$2,10.10^{-1}$	$1,83.10^{-1}$
Quantité de viande de bœuf, veau, cheval ingérée (kg/jour)	$1,46.10^{-2}$	$2,16.10^{-2}$	$4,46.10^{-2}$	$4,77.10^{-2}$	$4,07.10^{-2}$	$3,18.10^{-2}$
Quantité de viande de mouton ingérée (kg/jour)	$1,69.10^{-3}$	$1,14.10^{-2}$	$1,81.10^{-2}$	$1,94.10^{-2}$	$2,14.10^{-2}$	$2,25.10^{-2}$
Quantité de viande de porc ingérée (kg/jour)	$1,07.10^{-2}$	$3,52.10^{-2}$	$4,94.10^{-2}$	$4,97.10^{-2}$	$5,62.10^{-2}$	$4,98.10^{-2}$
TOTAL : Quantité de viandes ingérée (kg/jour)	$2,70.10^{-2}$	$6,82.10^{-2}$	$1,12.10^{-1}$	$1,17.10^{-1}$	$1,18.10^{-1}$	$1,04.10^{-1}$
Quantité de viande de volailles ingérée (kg/jour)	$1,16.10^{-2}$	$2,41.10^{-2}$	$4,26.10^{-2}$	$4,48.10^{-2}$	$5,97.10^{-2}$	$4,61.10^{-2}$
Quantité d'œufs ingérée (kg/jour)	$8,44.10^{-3}$	$1,52.10^{-2}$	$2,39.10^{-2}$	$3,01.10^{-2}$	$2,46.10^{-2}$	$2,73.10^{-2}$
Quantité de poissons et crustacés ingérée (kg/jour)	$1,61.10^{-2}$	$1,96.10^{-2}$	$3,24.10^{-2}$	$3,09.10^{-2}$	$5,02.10^{-2}$	$6,26.10^{-2}$
Quantité de lait ingérée (kg/jour)	$3,20.10^{-1}$	$2,63.10^{-1}$	$2,24.10^{-1}$	$1,91.10^{-1}$	$1,51.10^{-1}$	$1,89.10^{-1}$
Quantité de beurre ingérée (kg/jour)	$6,85.10^{-3}$	$7,46.10^{-3}$	$1,20.10^{-2}$	$1,18.10^{-2}$	$1,63.10^{-2}$	$1,22.10^{-2}$
Quantité d'autres produits laitiers ingérée (kg/jour)	$1,38.10^{-1}$	$1,01.10^{-1}$	$1,14.10^{-1}$	$1,10.10^{-1}$	$9,46.10^{-2}$	$1,08.10^{-1}$
TOTAL : Quantité de lait et produits laitiers ingérée (kg/jour)	$4,65.10^{-1}$	$3,71.10^{-1}$	$3,50.10^{-1}$	$3,12.10^{-1}$	$2,62.10^{-1}$	$3,09.10^{-1}$

ANNEXE A-9

Calage du modèle HHRAP

Le modèle HHRAP évalue les concentrations dans les produits d'exposition en modélisant les transferts entre les différents milieux environnementaux et les produits d'exposition. En l'absence d'eau superficielle ou souterraine, les différents modes de contamination des végétaux sont réalisés à partir du milieu atmosphérique et du sol.

Compte tenu de différences dans les mécanismes de contamination, les calculs sont effectués différemment pour :

- les organes végétaux aériens (c'est-à-dire les productions végétales dont les organes aériens sont consommés) et comprenant les organes végétaux aériens « exposés » et les organes végétaux aériens « protégés ». Dans le cadre de cette étude, on considère uniquement les organes végétaux aériens exposés (les salades et les tomates) ;
- racinaires sont consommés), à savoir les radis.

Pour les organes végétaux aériens, il existe trois mécanismes de contamination des végétaux :

- le dépôt direct de particules (dépôt sec et humide de la phase particulaire du polluant sur la surface du végétal) ;
- le transfert par la phase gazeuse (pénétration de la phase vapeur du polluant par absorption foliaire) ;
- l'absorption racinaire (pénétration du polluant depuis le sol et transfert vers les organes aériens).

Pour les **organes végétaux racinaires**, la concentration en polluant dans les organes racinaires est estimée en faisant intervenir la concentration dans le sol et un facteur de bioconcentration du sol vers les organes racinaires.

La contamination des végétaux est calculée, dans le modèle HHRAP, à partir de facteurs indépendants du polluant. Les autres facteurs dépendent fortement du polluant mis à cause, notamment le facteur de bioconcentration du polluant du sol vers les légumes. La sensibilité de ce facteur a été estimée afin d'évaluer l'impact sur les résultats du modèle et de procéder au choix définitif du facteur par comparaison avec les concentrations réellement mesurées à l'état initial. Il s'est avéré que ce facteur surestimait ou sous-estimait fortement (jusqu'à un facteur 100) pour certains paramètres les concentrations dans les végétaux, et ce quelle que soit l'origine de la valeur bibliographique choisie pour ce facteur de transfert. Au vu des résultats, un calage du modèle HHRAP a donc été mis en place pour l'arsenic, le baryum et le cadmium. Pour le mercure, il n'existe pas de transfert du polluant du sol vers le légume. Ce calage permettra *in fine* de pouvoir comparer la situation actuelle basée sur les mesures de la qualité des végétaux et des sols avec les situations à l'horizon 2020.

Le calage du modèle a été réalisé à partir de la situation actuelle de la manière suivante :

- les concentrations moyennes annuelles et les dépôts atmosphériques (secs, humides et totaux) imputables aux émissions de la rocade modélisés à l'état initial par le logiciel ADMS aux points spécifiques cités dans les **tableaux 36 et 37 à 40** ont été recensés pour identifier les valeurs médianes représentatives des stations situées en proximité routière et en zone de fond. Ces valeurs médianes ont ensuite été intégrées comme données d'entrées dans le modèle HHRAP. Elles sont présentées dans le **tableau A-3**.

Tableau A-3 : Estimations des dépôts médians annuels des polluants traceurs du risque ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$) – contribution de la rocade pour la situation « Etat initial»

Typologie de la station	Points d'exposition	Concentrations moyennes annuelles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dépôts secs moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)	Dépôts humides moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)	Dépôts totaux moyens annuels ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)
Proximité routière	As	$4,40.10^{-5}$	$3,96.10^{-7}$	$5,86.10^{-9}$	$3,99.10^{-7}$
	Ba	$8,27.10^{-5}$	$7,19.10^{-7}$	$1,13.10^{-8}$	$7,30.10^{-7}$
	Cd	$2,93.10^{-5}$	$1,13.10^{-7}$	$2,55.10^{-9}$	$1,16.10^{-7}$
Bruit de fond	As	$1,50.10^{-5}$	$1,33.10^{-7}$	$3,98.10^{-9}$	$1,35.10^{-7}$
	Ba	$5,25.10^{-5}$	$4,68.10^{-7}$	$1,14.10^{-8}$	$4,74.10^{-7}$
	Cd	$6,18.10^{-6}$	$2,45.10^{-8}$	$5,52.10^{-10}$	$2,51.10^{-8}$

- les concentrations moyennes annuelles observées sur la station B2 lors de la campagne de mesures réalisée par Cap Environnement, représentative des concentrations de fond en polluants déterminés sur la zone d'étude, ont ensuite été ajoutées aux concentrations moyennes annuelles imputables aux émissions de la rocade pour établir la concentration moyenne cumulée pour l'état initial au niveau des stations de proximité routière et des stations de fond. Les concentrations moyennes annuelles de fond sont présentées dans le **tableau A-4** ;

Tableau A-4 : Concentrations moyennes annuelles observées par Cap Environnement sur la station B2 (ng/m^3) (résultats présentés dans le chapitre IX « Synthèse des mesures effectuées en saison chaude et en saison froide).

As	Ba	Cd
0,67	3,21	0,17

- les concentrations observées dans les sols prélevés dans les potagers situés en proximité automobile ou en zone de fond ont été sommées avec les concentrations simulées dans les sols avec le modèle HHRAP imputables aux émissions de la rocade,
- les facteurs de bioconcentration du sol vers les organes racinaires ont ensuite été choisis en comparant les concentrations simulées dans les végétaux avec le modèle HHRAP avec les concentrations mesurées lors de la caractérisation de l'état initial. Les facteurs de bioconcentrations choisis sont présentés dans le **tableau A-5** ci-après.

Tableau A-5 : Facteurs de bioconcentration choisis en fonction du légume, du polluant et de la typologie de la station.

		As	Ba	Cd
Proximité routière	Salades	$1,065.10^{-2}$	$4,390.10^{-2}$	$4,950.10^{-1}$
	Tomates	$1,760.10^{-3}$	$5,090.10^{-3}$	$1,900.10^{-1}$
	Radis	$2,340.10^{-2}$	$9,540.10^{-2}$	$2,590.10^{-1}$
Bruit de fond	Salades	$1,660.10^{-2}$	$9,090.10^{-2}$	$7,800.10^{-1}$
	Tomates	$2,170.10^{-3}$	$7,940.10^{-3}$	$1,918.10^{-1}$
	Radis	$1,399.10^{-2}$	$1,889.10^{-1}$	$1,705.10^{-1}$

ANNEXE A-10

Mesures compensatoires générales pour les conséquences d'un projet sur l'environnement et la santé

Le présent document a pour vocation d'informer sur les nouveaux éléments de compréhension, mais également sur les méthodes qui cernent et hiérarchisent les effets des déplacements sur les émissions de gaz à effet de serre et sur la pollution de l'air.

Les outils techniques et méthodologiques les plus courants sont ici présentés, avec leur domaine d'application et leurs limites. Les mesures envisageables dans le cadre des plans de déplacements urbains (PDU) concernant la thématique air présentée dans ce document ne forment pas une liste exhaustive. Elles sont reprises uniquement comme des exemples de mesures qui ont déjà pu être mises en place dans des PDU existants ou dans des programmes équivalents dans divers pays et qui bénéficient d'un retour d'expérience sur les impacts des mesures mises en œuvre.

- objectif 1 : baisse de la vitesse réglementaire,
- objectif 2 : régulation du trafic,
- objectif 3 : orientations des flux de trafic,
- objectif 4 : restrictions de la circulation,
- objectif 5 : promotion des modes et véhicules propres,
- objectif 6 : action sur le stationnement.

Planification de l'urbanisme.

Les actions concernant la planification de l'urbanisme ont pour objectif de réduire les distances et les fréquences de déplacement avec des véhicules individuels. Les enjeux se situent surtout dans les zones périurbaines, où la circulation automobile croît le plus rapidement et où l'efficacité des transports collectifs est plus coûteuse à obtenir.

Ces actions peuvent concerner la planification de zones d'urbanisation soit par le réaménagement des zones dans le but de les rendre mixte, soit par la maîtrise de la localisation de l'emploi et des résidences afin de réduire les longueurs de déplacements, soit par le développement et la répartition plus équilibrée de services locaux pour permettre une continuité des itinéraires piétons et cyclables tout en évitant la porosité des quartiers.

Par conséquent ces mesures vont vers une modification des règles d'urbanisme pour favoriser le développement des transports collectifs et des modes peu ou pas polluants.

Objectif 1 : Baisse de la vitesse réglementaire

- la vitesse limite réglementaire à 70 km/h

Principe : Diminuer la vitesse limite réglementaire à 70 km/h sur voies rapides urbaines initialement limitées à 90, 110 ou 130 km/h.

Retour d'expérience sur cette action :

En Allemagne notamment, le passage d'une vitesse "libre" à 100 km/h a eu pour effet une réduction de la vitesse moyenne de 10 km/h pour une économie de consommation de carburant de 7 %.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Diminution de la consommation de carburant, des émissions de CO2 et des polluants de proximité.
- Baisse du trafic sur les voies concernées et des nuisances qui lui sont associées.



- Reports du trafic et des pollutions sur d'autres itinéraires.

- la vitesse limite réglementaire à 30 km/h

Principe : Diminuer la vitesse limite réglementaire à 30 km/h sur voies urbaines initialement limitées à 50 ou 70 km/h.

Retour d'expérience sur cette action :

La mise en œuvre de ce concept a été reprise avec les zones 30 en Allemagne. Elle a eu pour effet de modifier les modes de conduite et de réduire l'intensité et la durée des accélérations.

L'expérience de la ville de Buxtehude près de Hambourg, où le concept a été étendue sur toute la ville (25 000 habitants), montre que, comme les conducteurs ne peuvent plus espérer y circuler à 50 - 70 km/h, ils passent plus rapidement la troisième vitesse de sorte que le régime moteur soit moins élevé ceci réduit d'autant les émissions polluantes : les évaluations font ressortir des baisses sur les émissions de polluants de 10 % pour les COV, de 20 % pour le CO et de 35 % pour les NOx.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Diminution de la consommation de carburant, des émissions de CO2 et des polluants de proximité.
- Baisse du trafic sur les voies concernées et des nuisances qui lui sont associées.



- Reports du trafic et des pollutions sur d'autres itinéraires.

Objectif 2 : Régulation du trafic

- **Régulation et centralisation des feux**

Retour d'expérience sur cette action :

De nouvelles gestions centralisées des feux sur Niort et Amiens ont été évaluées en termes de variations d'émission et de consommation de polluant. Sur Amiens, des gains de 9,5 % sur la vitesse moyenne de parcours, 25 % sur les émissions de CO, 5 à 7 % sur la consommation d'énergie et les émissions de CO₂, ont été évalués un an après. Pendant cette période, le volume de la circulation augmentait de 2,9 %.

Sur Niort, alors que l'augmentation de trafic globale sur la zone était plus importante (6,8 %), des gains de 4 % sur la vitesse moyenne de parcours, de 1,5 % sur les émissions de CO ainsi que la stagnation des émissions de NOx, de la consommation et des émissions CO₂ ont été observés.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Amélioration de la fluidité et de la vitesse moyenne des véhicules automobiles.
- Réduction globale de la consommation, des émissions de CO₂ et de CO.
- Mais peu ou pas de réduction des NOx.



- Les écarts observés sont faibles et ne permettent pas de conclure sur les performances comparées des différents systèmes commercialisés.
- La régulation des feux de trafic n'est pas en mesure de rendre fluide la circulation lorsqu'on approche de la saturation.

→ Dans tous les cas, la régulation n'a d'intérêt que si les précautions nécessaires sont prises pour qu'elle n'entraîne pas un surcroît de trafic. En revanche, il est possible d'utiliser les techniques de régulation des feux de carrefour pour accorder une priorité aux transports en commun et améliorer ainsi leur vitesse commerciale et leur régularité ou pour réguler la demande de trafic automobile dans une zone.

- **Action « Ondes Vertes »**

L'onde verte est la stratégie de régulation par feux tricolores.

Principe : Cette action sur un axe minimise les temps de parcours et les arrêts en ajustant les paramètres "durée du cycle", "durées de vert" et "vitesses de coordination". L'exploitant peut ainsi améliorer la fluidité et supprimer les vitesses élevées. À l'inverse, faire de l'onde rouge peut permettre de modérer la circulation en décourageant l'automobiliste d'emprunter les axes ainsi régulés. (Source : CERTU).

Retour d'expérience sur cette action :

L'expérience parisienne montre que, sur voie rapide urbaine, la limitation de vitesse par signalisation accompagnée par des panneaux à messages variables a un effet à court terme positif sur les vitesses les plus élevées, qui pondèrent fortement les émissions des polluants. Des limitations de 20 km/h en deçà des limites habituelles sur le réseau rapide apporteraient un gain non négligeable (dans l'hypothèse où le trafic reste fluide) vis-à-vis des émissions globales d'une agglomération, car ces voies drainent généralement une grosse part des trafics urbains.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- Réduction sensible des débits d'écoulement en multipliant les phases.
- Suppression des vitesses élevées d'où une diminution des émissions polluantes, de la consommation de carburant.



- Pourtant, cette technique n'a de pertinence que si la circulation est fluide.
- Risque, si utilisation à tort, de provoquer une sursaturation et un nombre excessif de démarrages/arrêts, préjudiciables à la limitation des émissions polluantes.

➔ L'onde verte est d'autant plus efficace que l'axe est homogène en nombre de voies et que le trafic est fluide, sans remontée de file d'un cycle à l'autre.

Avec une onde verte à double sens, les distances entre carrefours imposent souvent la vitesse de coordination et la bande passante. Leur mise en œuvre souvent délicate peut permettre de favoriser un sens de circulation plutôt qu'un autre, suivant les heures de la journée ou le trafic.

- **Régulation en faveur des transports collectifs**

Principe : La régulation en faveur des bus et des tramways, jumelées avec certains aménagements de voirie comme les couloirs réservés, conduit à un accroissement de la vitesse commerciale des véhicules de transport collectif pouvant aller jusqu'à 10 %, à une réduction des temps d'attente des usagers et à une diminution des consommations spécifiques des bus de 7 % environ.

Retour d'expérience sur cette action :

A Nancy, la mise en place d'un nouveau système d'aide à l'exploitation a permis une diminution de l'ordre de 2,2 % de la consommation énergétique de l'ensemble du réseau, 15 % de gain de productivité en kilomètres annuels parcourus par conducteur et selon l'exploitant une augmentation de 16 % de la vitesse commerciale sur l'ensemble des lignes.

Avantages de cette mesure :

- Diminution de la consommation énergétique et des émissions de CO₂.
- Facteur favorable au report modal des déplacements effectués en voiture vers les transports collectifs.

Objectif 3 : Orientation des flux de trafic

- **Déviation du trafic de transit**

Cette action a pour but de dévier le trafic de transit.

Principe : En matière de pollution de l'air, l'efficacité d'une telle mesure est directement fonction de la part relative au trafic. Il y a donc lieu d'évaluer en premier lieu l'impact de la mesure sur le trafic global. Les émissions en polluants sont, toutes choses égales par ailleurs, directement proportionnelles au trafic.

Aussi, si le trafic augmente par exemple de 10%, les émissions augmentent de 10%. Il faut noter que ce principe de proportionnalité disparaît dès lors que la déviation concerne davantage une catégorie de véhicules qu'une autre (PL par exemple) ou que les vitesses sont modifiées.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Baisse de l'ensemble des émissions et de la consommation énergétique sur les itinéraires concernés par une baisse de trafic.



- Augmentation de l'ensemble des émissions et de la consommation énergétique sur les itinéraires cibles du report de trafic, d'où nécessité d'une réflexion d'ensemble.

- **Hiérarchisation du réseau et concentration du trafic**

La vitesse sur les axes principaux est plus continue et plus élevée en moyenne que dans les rues traditionnelles (réseau secondaire, voies de distribution et de desserte).

Principe : La circulation de véhicules lourds sur les voies décongestionnées (autoroute par exemple), réduit leurs nuisances du fait, *a priori*, de la moindre proximité des bâtiments sur ce type d'axe tandis que les quartiers résidentiels sont soulagés.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Diminution de l'exposition des populations à la pollution de proximité routière.



- Contestations des riverains des artères principales où le trafic est concentré.

- La répartition dans le temps du trafic est délicate à maîtriser : le partage dans le temps de l'usage des voies entre automobiles et poids lourds par voie réglementaire (par exemple lorsque sont interdits les poids lourds ou les véhicules de livraisons de jour ou en période de week-end) peut présenter des inconvénients sérieux comme d'accroître les nuisances nocturnes à proximité de zones de résidence.

- **Interdiction du trafic poids lourds sur un axe**

Retour d'expérience sur cette action :

En vue d'améliorer les conditions de circulation et de diminuer les nuisances sur la traversée autoroutière A6/A7 de l'agglomération lyonnaise, le préfet du Rhône interdisait, le 19 février 1996, la circulation des poids lourds de plus de 7,5 t en transit dans la traversée du tunnel sous Fourvière et leur imposait un itinéraire obligatoire par le contournement Est A46.

Sur l'agglomération, la mise en place de la déviation conduit à une augmentation de 3 % des émissions de particules, de 6 % pour les NOx et d'une baisse de 0,3 % pour le CO.

Au niveau local, les émissions de particules diminuent sur l'axe A6/A7 de 13 et 40 % au kilomètre et augmentent de 17 à 43 % sur le contournement selon les sections considérées. Les émissions de NOx diminuent sur l'axe A6/A7 de 11 à 41 % et augmentent de 15 à 49 % sur le contournement tandis que les émissions de monoxyde ne sont pas modifiées. Localement, le transfert des émissions de secteurs urbains présentant une forte probabilité de concentrations élevées et une importante population exposée vers des secteurs périurbains, où les conditions de diffusion et d'exposition des populations sont favorables à un moindre risque pour la santé, est tout à fait positif. Bien que conduisant à des accroissements d'émissions pour les polluants NOx et particules par rapport à l'absence de déviation, l'impact de cette déviation sur le volume global des émissions de l'agglomération est sans aucun doute mineur.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Amélioration des pollutions atmosphérique de proximité sur l'axe soulagé.



- Apport de pollution le long des itinéraires de substitution d'où nécessité d'une réflexion d'ensemble.

➔ La mise en œuvre d'une mesure d'interdiction de trafic poids lourds n'est pas toujours faisable selon la configuration du réseau routier rapide local et la capacité disponible sur les itinéraires alternatifs. Les itinéraires de délestage ne doivent pas présenter un risque de dégradation des conditions de sécurité.

Objectif 4 : Restrictions de circulation

- **Action « Péage urbain » : cas du péage de financement**

Principe : Le péage de financement consiste à prélever sur les automobilistes qui circulent en certains endroits les sommes destinées au financement d'ouvrages qu'ils utiliseront. Le péage de financement transfère sur l'automobiliste le coût de construction de l'infrastructure, qui aurait été supporté par le contribuable.

Retour d'expérience sur cette action :

La ville d'Oslo est un exemple d'application innovante, mais au bilan mitigé. Le péage est perçu à la traversée d'un cordon routier ceinturant complètement la partie centrale de l'agglomération et servirait à financer plusieurs tunnels dont la finalité est de diminuer, dans cette partie, le trafic automobile du réseau de surface.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Diminution globale du trafic routier et de ses nuisances par augmentation du coût d'usage de la voiture.



- Résultats nuancés selon la nature des ouvrages financés avec les recettes du péage.

- **Action « Péage urbain » : cas du péage de régulation ou de congestion**

Principe : Dans les péages de régulation, l'objectif n'est plus de prélever une recette, mais de modifier le comportement de l'automobiliste. La recette encaissée devient accessoire. L'essentiel est de dissuader les automobilistes de circuler, là où il y a congestion et à l'heure concernée. Il s'agit d'ajuster le montant du péage au minimum nécessaire pour rétablir la fluidité de la circulation. Le mode de pilotage du système par l'autorité ou l'opérateur qui le gère peut être qualifié de « pilotage à vue » : si la congestion apparaît, on augmente les prix jusqu'à ce qu'elle disparaisse. Le péage de régulation fait supporter, par chaque automobiliste, le coût des pertes de temps qu'il occasionne aux autres.

Retour d'expérience sur cette action :

Singapour et la Californie ont recours au péage de régulation, avec des variantes de perception du péage (perception au franchissement d'un cordon pour Singapour, perception sur une section d'autoroute pour la Californie).

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Ce système peut être doublement gagnant : l'automobiliste passant au péage paye les gains de temps et de nuisances dont il bénéficie grâce au système. Il ne perd rien au total ; la collectivité publique qui perçoit le péage peut redistribuer du bien-être supplémentaire à ses membres. Le péage de régulation est le péage idéal pour donner des contreparties attractives.



- L'un des effets pervers du système, du point de vue environnemental, est d'orienter les recettes du péage vers des investissements encourageant la circulation automobile, plutôt que vers le développement des modes peu polluants.

- **Action « Péage urbain » : cas du péage d'orientation ou environnemental**

Principe : Dans cet esprit, on fera payer à l'automobiliste, chaque fois qu'il se déplace, le coût des nuisances qu'il cause au reste de la société (pollution) : c'est la notion « d'internalisation des coûts externes ». Le prix du péage est calculé par une méthode relativement abstraite et il n'y a pas d'indication en retour qui permette de constater simplement s'il est fixé au bon niveau.

Pour le péage d'orientation, la contrepartie semble bien désignée puisque, pour fixer le montant du péage, on évalue des préjudices causés.

But : L'ambition du péage d'orientation est d'influencer le comportement des acteurs : pour que chaque acteur contribue à faire évoluer la société dans le bon sens, il faut établir partout la « vérité des prix », ces prix constituant des « signaux » aidant à trouver les solutions les mieux adaptées aux déséquilibres rencontrés.

Retour d'expérience sur cette action :

En Norvège, à Trondheim depuis 1991, où les recettes collectées sont utilisées en partie pour les transports publics et les modes doux, ainsi que pour les aménagements de l'environnement urbain. Il s'agit d'un péage de cordon, à l'extérieur duquel un peu moins de la moitié de la population réside et dans lequel se situe la majorité des emplois, commerces et services. Il s'applique aux automobilistes entrant entre 6 et 17 heures les jours de semaine et s'appuie sur des technologies d'identification et de débit automatiques des véhicules. 85 % des véhicules sont équipés de l'électronique embarquée. Entre 1990 (avant mise en œuvre) et 1992 (après), le trafic de période de pointe a diminué de 10 % environ à l'intérieur du cordon tandis que le trafic en période non soumise à péage a augmenté de 8 %. Par ailleurs le trafic extérieur au cordon a augmenté en période de pointe. Les enquêtes montrent une diminution du nombre de déplacements tous modes transitant dans le cordon de 4,4 % et une diminution de 12 % des déplacements sur l'ensemble de la région urbaine. Sur la même période, la part de marché des déplacements effectués en transports collectifs s'est accrue de 8,4 % tandis que celle de l'automobile a baissé de 5,6 % sur l'ensemble de la région de Trondheim.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Diminution globale du trafic routier et de ses nuisances.
- Dégagement de ressources pour la compensation des préjudices dus au transport.



- Possible augmentation du trafic et de la congestion à l'extérieur de la zone de péage.

- **Action « Zones de trafic limité »**

Principe : La restriction d'accès des voitures particulières peut se faire par le biais d'actions fines d'aménagement visant à réduire les vitesses, combinées à des mesures d'exploitation des voies d'accès.

Les feux de signalisation, les facilités de stationnement accordées aux résidents, le réaménagement détaillé de l'espace public peuvent avoir des impacts sur les vitesses et allures qui y sont pratiquées et dissuader le trafic de transit.

But : Améliorer le cadre de vie et diminuer les nuisances dues à la circulation.

Retour d'expérience sur cette action :

Des gains notables en matière de pollution locale, malgré les reports du trafic de transit, ont été évalués dans certaines villes européennes du Nord de l'Europe (Göteborg, Groningue, Gideon-

Västerås près de Stockholm). À Chester (UK) la mise en zone piétonnière du centre a conduit à réduire les émissions dans le centre-ville, mais à accroître les longueurs de déplacements en périphérie, ce qui a conduit globalement à un accroissement de 5 % des émissions à l'échelle de l'agglomération.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Diminution des nuisances locales et amélioration des conditions de circulation.
- Amélioration des conditions de circulation dans la zone concernée.



- Report du trafic et donc de la congestion et des nuisances en périphérie.
- Action très localisée.

• Action « Interdiction en fonction du numéro de plaques des véhicules »

Principe : circulation alternée selon le numéro de plaque minéralogique, pour les véhicules particuliers.

But : Lutter contre la pollution de l'air.

Retour d'expérience sur cette action :

Dans le cas d'Athènes, où la zone réglementée correspond à la ville, les effets sont critiqués. Certains experts affirment que l'on observe un ralentissement du renouvellement du parc automobile, un accroissement du trafic des deux-roues motorisés, très émetteurs de COV, l'achat d'un deuxième véhicule pour bénéficier d'une plaque de parité complémentaire ainsi que l'absence d'impact sur la pollution de fond, notamment en ozone, qui résulte à Athènes d'autres émissions que celles du trafic de la ville. D'autres accordent à la mesure l'amélioration des conditions de circulation et, par voie de conséquence, une amélioration notable de la pollution de proximité dans la zone réglementée.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Réduction du trafic automobile et de ses nuisances.
- Amélioration des conditions de circulation.



- Si la mesure est pérenne, risque de baisse de renouvellement du parc automobile (et donc des véhicules « innovant » en matière de pollution atmosphérique).
- Si la mesure est durable, risque d'augmentation de l'achat d'un deuxième véhicule ou d'un deux-roues (très émetteur de COV).

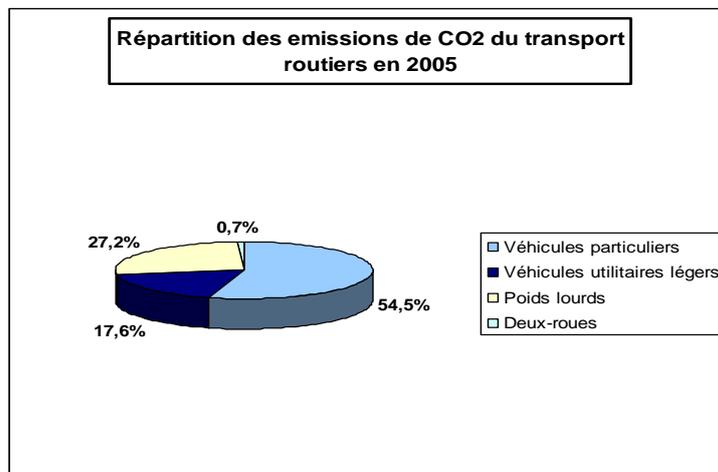
→ Si la mesure est pérenne, elle est plutôt adaptée à des villes de taille très importante. Si la mesure est ponctuelle, elle peut permettre la gestion des pics de pollution.

• **Action « Interdiction d'accès en fonction de la catégorie technologique des véhicules »**

Contexte : Il est essentiel de souligner que l'actualisation 2006 du plan Climat fait référence à la directive Eurovignette (2006/38/CE) et ceci pour les poids lourds qui est dans un premier temps expérimentée en Alsace avant la transposition en droit français.

Principe : Interdire la circulation de certaines catégories de véhicules dans ces zones, en fonction de critères environnementaux. Les véhicules autorisés sont repérables par une vignette attribuée aux catégories technologiques dont les émissions polluantes unitaires sont les plus faibles.

But : limiter les émissions polluantes de particules fines dans les zones les plus exposées de l'agglomération en jouant sur le trafic le plus polluant.



Source : INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques).

Retour d'expérience sur cette action :

Berlin depuis 1994, Copenhague depuis 1995 et des villes suédoises comme Stockholm, Göteborg et Malmö depuis 1996 ont adopté ce principe commun. Les catégories bénéficiant de la vignette sont différentes selon les villes citées. À Berlin, la sélection opère de façon graduée dans le temps et concerne les véhicules particuliers (dès 1998), les véhicules utilitaires légers (dès 1999) et les véhicules utilitaires lourds (dès 2000). Dans les villes suédoises ainsi qu'à Copenhague, la sélection porte sur les véhicules utilitaires lourds et les bus. Les périmètres retenus couvrent généralement le centre urbain, plus dense en habitants et en emplois.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Réductions des nuisances dues au transport routier.



- Risque de reports de trafic lourd sur des voies exposées et sensibles, d'où la nécessité d'avoir une démarche globale qui prévoit des itinéraires spécifiques pour les poids lourds.

Objectif 5 : Promotion des modes et véhicules propres

- **Action « Développement de la marche »**

La marche représente plus d'un déplacement urbain sur quatre, et même plus dans certaines agglomérations. C'est un mode pratiqué, de manière plus ou moins importante, par toutes les catégories d'habitants. C'est un enjeu important, puisqu'une grande part des déplacements effectués en voiture en agglomération couvrent des portées très faibles (25 % font moins de 1 km, 50 % font moins de 3 km) et que ces déplacements sont souvent effectués à froid. Ils sont donc en matière de pollution atmosphérique à l'origine d'importantes surémissions (facteur 10 à 15 par rapport aux émissions à moteur chaud).

Principe : Améliorer le confort et la sécurité des cheminements doit prévaloir dans toute politique concernant les piétons, à la fois par le développement de rues à trafic calmé et par le traitement des trottoirs (largeur, revêtements non glissants, etc.), mais également par le franchissement des coupures que constituent certains carrefours, les voies rapides ou voies ferrées, les avenues très circulées. En outre, il importe de développer l'accessibilité de tous les secteurs de l'agglomération à toutes les catégories de personnes et notamment aux personnes à mobilité réduite.

Retour d'expérience sur cette action :

En France, plusieurs grandes villes encouragent les "carapattes", marque déposée par l'Ademe pour dénommer les autobus pédestres. Le « carapatte » est un véritable système de ramassage scolaire pédestre sans moteur, fonctionnant avec des parents qui collaborent à tour de rôle pour accompagner les enfants à l'école à pied selon un trajet et des horaires donnés.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Réductions des pollutions atmosphériques ainsi que de la consommation d'énergie.

- **Action « Développement du vélo »**

Le vélo permet de transférer des déplacements de portées plus importantes que la marche de la voiture particulière vers des modes moins polluants, dans des conditions très compétitives, particulièrement en milieu urbain.

Principe : Le développement de ce mode peut se faire notamment en lui accordant une offre plus sécurisante et plus importante sur la voirie, en améliorant les moyens de parcage et en développant des services pour le vélo.

Le vélo est un mode de déplacement adapté à des trajets quotidiens courts, en général inférieurs à 5 km. On peut aisément favoriser son usage sur de plus longues distances en l'intégrant à une chaîne multimodale de transport.

Retour d'expérience sur cette action :

Il existe plusieurs façons de développer l'usage du vélo et d'organiser l'intermodalité:

- permettre le transport des vélos dans les transports en commun et dans les trains : dans la région parisienne, tous les trains acceptent les vélos sauf aux heures de pointe et un grand nombre de trains régionaux transportent également les bicyclettes gratuitement en bagage à main ;
- promouvoir la location de vélos aux principales stations de transport en commun : la mise en place du réseau « Vélo'v » à Lyon ou du « V3 » à Bordeaux répond à cet objectif. Ce réseau permet de prendre un vélo à une station et de le restituer à une autre, où qu'elle soit.

- Réseaux cyclables urbains intégrant des voies vertes, comme par exemple la voie verte du canal de l'Ourcq en Seine Saint Denis, la voie verte du canal du Midi à Toulouse.

Avantages et inconvénients de cette mesure :



- Réductions des pollutions atmosphériques ainsi que de la consommation d'énergie.

• Action « Développement des transports collectifs »

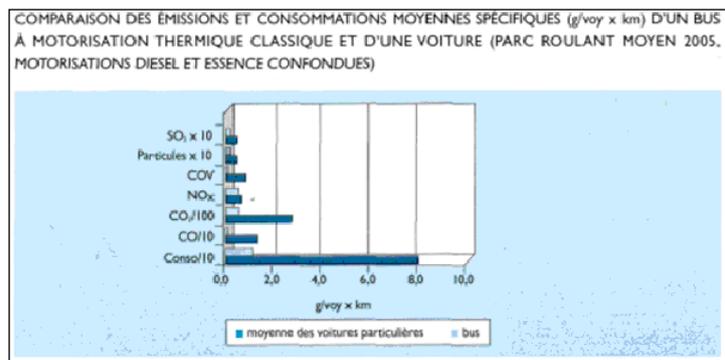
Pour réduire les émissions polluantes, il ne suffit pas de développer les transports en commun ; encore faut-il le faire de façon sélective :

- attirer une clientèle d'automobilistes à offre constante par l'amélioration de la qualité de service ou par une politique de stationnement rigoureuse ne peut se traduire que par une réduction nette des émissions ;
- pour les dessertes où les flux sont faibles, mais que l'on souhaite maintenir ou développer pour des raisons sociales (assurer le droit au transport des usagers captifs des transports publics), mieux vaut envisager le recours à des solutions plus adaptées ; des lignes régulières de minibus ou de taxis collectifs constituent des réponses efficaces, ainsi que des systèmes plus élaborés de transport à la demande.

Principe : La promotion de l'usage des transports collectifs doit reposer sur plusieurs axes stratégiques :

- augmentation de l'offre par des modes lourds en site propre dans les zones denses (tramway, métro, bus et trolleybus en site propre),
- augmentation des fréquences, amélioration du maillage et des correspondances entre les lignes sur l'ensemble du réseau,
- solutions plus légères pour les zones peu denses, du type transport à la demande, taxi collectif.
- amélioration de la qualité de service : régularité, vitesse commerciale, confort des véhicules.
- amélioration de l'information aux usagers tels que les systèmes d'information multimodale des voyageurs, ou des centrales de mobilité, qui sont des services accessibles 24 heures sur 24, par téléphone, site internet ou fax, et qui donnent une information personnalisée, en fonction du déplacement à effectuer,
- Amélioration de la sécurité des voyageurs.

➔ En général, on retiendra qu'une baisse de 10 % des tarifs des transports collectifs urbains aura pour effet de baisser le trafic en voiture (véhicules x km) de 1 % au plus et d'augmenter la clientèle des transports collectifs de 3 à 4 % (voyageurs x km) à court terme et de 6 à 8 % à long terme.



Source : ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie).

Retour d'expérience sur cette action :

Les exemples de Toulouse et de Strasbourg, villes dotées respectivement d'un métro léger (VAL) et d'un tramway, sont intéressants. A Strasbourg, la politique de déplacements menée depuis 10 ans porte à la fois sur le transport collectif mais aussi sur le développement de l'usage du vélo et de la marche. Ainsi, dans les secteurs où des mesures ont été prises pour développer les autres modes que la voiture, en particulier dans le grand centre de Strasbourg, l'usage de la voiture recule au profit du transport en commun et du vélo, alors que dans l'ensemble de l'agglomération, même si la part du transport collectif progresse, l'usage de la voiture est en augmentation.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- Réduction des pollutions atmosphérique ainsi que de la consommation d'énergie dès lors que l'offre de transport collectif parvient à agir sur la répartition modale.

- Les transports collectifs par autobus constituent un mode performant vis à vis de la réduction de l'essentiel des émissions de polluants atmosphériques, lorsqu'il s'agit de répondre à une demande suffisamment forte, permettant d'obtenir des taux d'occupation élevés.



- Lorsque cette condition n'est pas remplie, leur intérêt pour lutter contre la pollution est faible, et ils peuvent même se révéler contre-productifs pour les flux faibles.

- La très faible élasticité du trafic automobile résulte du fait qu'une faible part de l'augmentation de clientèle des transports collectifs est composée d'anciens conducteurs de véhicules particuliers.

- **Action « Développement du covoiturage »**

Principe : A travers le PDU, cette pratique est encouragée en agissant sur l'offre de voirie et de stationnement :

- sur les voies rapides urbaines et autoroutes, par réservation de la voie de gauche et signalisation verticale, voire signalisation au sol lorsque les échangeurs sont suffisamment éloignés pour ne pas perturber les sorties des covoitureurs du réseau rapide. La signalisation des voies réservées devrait être aussi mise en place à tous les accès au réseau rapide,
- sur les artères urbaines, à sens unique de préférence sans basculer les covoitureurs sur les sites propres aux bus existants pour ne pas affaiblir leur vitesse commerciale et leur efficacité,
- dans des zones réglementées, par la mise en place d'aires de stationnement réservées aux covoitureurs, à proximité ou non des lignes de transport en commun, à condition qu'elles soient signalées aux accès à la zone.

MODE DE TRANSPORT	REPARTITION
Deux- roues seul	3.9%
marche à pied seul	7.9%
Pas de transport	11%
plusieurs modes de transport	4.1%
transport en commun seul	2.3%
voiture seule	70.8%

Répartition des modes de transport dans le département de la Manche en 1999.

Source : INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques).

Retour d'expérience sur cette action :

Le covoiturage reste relativement marginal en France. Il peut être encouragé soit par des mesures sur la voirie ou le stationnement, comme cela se fait, par exemple, en Californie, au Royaume-Uni et en Espagne, ou bien à partir des employeurs, avec l'élaboration de plans de mobilité des salariés.

De plus en plus d'entreprises françaises mettent en place un covoiturage organisé, à l'usage de leurs employés. Les enjeux ne sont pas négligeables : plus de la moitié des déplacements domicile-travail ont lieu pendant les heures de pointe, et les trois-quarts en voiture.

Les plans de déplacements d'entreprise (PDE) qui se développent en France visent à définir, au sein de l'entreprise, des mesures d'incitation à l'usage des transports publics, de la bicyclette, du covoiturage ou à la mise en place de transports collectifs d'entreprise. Ce type de démarche s'inscrit dans le management de la mobilité. Elle consiste notamment à évaluer les coûts d'usage et les temps d'accessibilité au site de l'entreprise, selon le mode de déplacement utilisé et la qualité des dessertes, pour les salariés, les fournisseurs et les clients, permettant au-delà des mesures proposées de sensibiliser chacun aux différents modes de transports.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- Baisse de la consommation énergétique.
- Diminution des nuisances liées au transport routier.
- Le covoiturage peut donc apparaître comme un moyen économique pour réduire l'usage de l'automobile, s'il est mis en œuvre en complémentarité aux actions visant les transports publics.
- Le covoiturage d'entreprise, en tant que mode de déplacement opérant surtout là où les transports collectifs sont peu présents, constitue une des réponses possibles et intéressantes du point de vue de l'environnement, dans le sens où il a une action positive sur la réduction de la mobilité globale en véhicule particulier.

- **Action « Promotion des véhicules propres »**

Principe : Il est possible de favoriser les livraisons en centre ville en limitant l'accès aux camions propres (roulant au gaz ou électriques) par rapport aux poids lourds « traditionnels ».

De même, les véhicules des collectivités peuvent être des véhicules propres (bus, bennes à ordures ménagères, véhicules légers des administrations, etc.).

Solutions technologiques existantes :

- Les véhicules incorporant l'énergie électrique dans leur chaîne de traction (véhicules électriques et hybrides),
- Les carburants gazeux (GPL, GNV),
- L'équipement des véhicules diesel en systèmes de post traitement (filtre à particules : FAP).

Retour d'expérience sur cette action :

À Londres, tout véhicule doit s'acquitter d'une taxe pour être autorisé à circuler en centre-ville, sauf les véhicules GNV qui en sont dispensés et bénéficient d'autres avantages, notamment l'autorisation de livrer les magasins du centre-ville en soirée, évitant ainsi les horaires de fort embouteillage.

La ville de Langres a pris un arrêté le 15 juin 2003 en ce sens, autorisant l'accès aux poids lourds supérieurs ou égaux à 19 tonnes uniquement entre 7 h et 9 h sauf pour les poids lourds au gaz ou électriques.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- Gains sur les rendements par de meilleures conditions d'exploitation.
- Gains sur les polluants locaux et régionaux (aucune émission avec l'électrique).
- Utilisation intéressante dans les transports collectifs urbains.



- Prix d'achat sensiblement plus élevé que celui des véhicules thermiques classiques.
- Autonomie limitée pour le véhicule électrique.

- **Action « Management de la mobilité » : plans de déplacements**

Principe : Un PDE consiste à mettre en œuvre une démarche, proposant un éventail de mesures permettant de favoriser les modes de transports alternatifs à la voiture individuelle, pour des déplacements liés aux activités professionnelles. Il s'agit d'améliorer la qualité et le confort des déplacements des salariés, ainsi que l'accessibilité du site de l'entreprise ou de l'administration pour les différents acteurs (salariés, fournisseurs, clients et visiteurs).

Actions concrètes dans les entreprises privées ou publiques pouvant être envisagées :

- développement des services de proximité afin d'éviter les déplacements inutiles (cafétéria, crèche, borne internet, etc.),
- rationalisation des parkings et de leur accès,
- participation de l'employeur au coût de l'abonnement en transports en commun,
- dotation de tickets et de cartes de transport pour les déplacements professionnels,
- mise à disposition de vélos de service et de parcs à vélos protégés et sécurisés,
- information personnalisée sur les solutions de transports alternatifs,
- centralisation du covoiturage avec stationnement réservé.

Retour d'expérience sur cette action :

Ainsi, Montpellier agglomération, en collaboration avec la société de transports de l'agglomération, a mis en place pour inciter les entreprises à mettre en place des PDE :

- un forfait transport annuel PDE à 297 € au lieu de 330 € pour les salariés des entreprises signataires d'une convention avec l'Agglomération et Transports de l'agglomération de Montpellier, permettant la libre circulation sur toutes les lignes du réseau de Montpellier et le libre accès aux parkings tramway à prix préférentiel ;
- un service d'accompagnement et de conseil sur la mise en place d'un PDE assuré par Transports de l'agglomération de Montpellier ;
- Un partenariat privilégié avec l'Ademe pour un soutien technique et financier (jusqu'à 50 % pour les études et 20 % pour la mise en œuvre des solutions).

→ Le nombre de PDE a été multiplié par 10 depuis 2002. Le dispositif d'aide de l'Ademe pour la réalisation par les entreprises de PDE sera poursuivi.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- Réduction de la congestion du trafic urbain et des nuisances atmosphériques qu'il implique.
- Diminution de la pollution de fond et des pics de pollution locaux.
- Diminution de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre.

- **Action « Management de la mobilité : plans de déplacements domicile - école »**

Le plan de déplacements d'école vise à réaliser un diagnostic de la mobilité des enfants et des parents, puis à proposer des actions adaptées au contexte local.

Principe : Le plan de déplacement domicile - école vise à remplacer l'usage de la voiture individuelle pour les trajets domicile - école des enfants et de leurs parents, par des modes de transports doux non polluants, comme la marche, le vélo, la trottinette, les rollers, les transports en commun, le covoiturage.

Les plans de déplacements d'école émanent d'une réflexion globale et transversale menée par une Agglomération ou l'école. Ils peuvent porter sur un seul ou plusieurs modes de transports et être appliqués à une seule ou l'ensemble des écoles d'une agglomération.

Retour d'expérience sur cette action :

Le PDU de l'agglomération caennaise approuvé en 2001 a pour objectif de promouvoir tout type d'actions visant à diminuer le trafic automobile. C'est dans cet esprit que, depuis l'automne 2003, le Syndicat mixte des transports en commun a engagé les Plans de déplacement vers l'école ou « Ecomobilité scolaire ».

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- Moins d'encombrement automobile devant les écoles entraînant donc moins de pollution.
 - Diminution de la consommation énergétique.
 - Etant donné que le premier kilomètre parcouru en voiture est le plus polluant (le moteur doit « chauffer »), et que les trajets domicile - école représentent des distances courtes, la baisse des trajets en voiture limite, de façon non négligeable, la pollution atmosphérique et les émissions de gaz à effet de serre.
 - Les déplacements du domicile à l'école sont ciblés car modifier le mode de transport utilisé par les parents pour accompagner les enfants à l'école, c'est souvent influencer sur le premier trajet de la journée et éventuellement modifier les modes de déplacements suivants.
 - Agir en profondeur en éduquant les enfants avec des réflexes « écomobiles ».
-
- Grande demande au niveau du volontariat.
 - Difficulté parfois de pérenniser dans le temps ce type d'action.

Objectif 6 : Action sur le stationnement

- **Action « Mise en place d'une politique de rationalisation du stationnement »**

Principe : Dès que les conditions de stationnement rendent possible l'usage de l'automobile pour un déplacement donné, la voiture tend à être utilisée. Les politiques de rationalisation du stationnement sont un moyen d'inciter au report vers d'autres modes de déplacement moins polluants.

Actions : Dans le cadre des PDU :

- articuler l'urbanisme et l'offre de transport collectif, en concevant le développement des logements, des emplois, des services et des nouveaux équipements publics autour des gares ou des arrêts des axes lourds ;
- agir sur l'image des transports collectifs en limitant les ruptures de charge, en améliorant la qualité des lieux de transbordement, en rendant homogène le niveau des services offerts, en développant une politique d'image valorisant des transports collectifs en site propre ;
- initier au transport public les non usagers et fidéliser la jeune clientèle ;
- organiser le stationnement à l'échelle de l'agglomération : en centre-ville, favoriser le stationnement des visiteurs et des résidents et limiter celui des pendulaires. En périphérie, il s'agira d'organiser le stationnement dans les parcs-relais et de proposer des alternatives aux migrants : covoiturage, autopartage, plans de déplacements entreprises.

Retour d'expérience sur cette action :

Les travaux rédigés à partir de l'enquête transport 1994 ainsi qu'une étude réalisée en 1995 par le CERTU et l'EPFL ont particulièrement mis en avant le rôle prépondérant du stationnement sur la répartition modale pour le motif travail. Plus de 75 % des actifs qui disposent d'une place de stationnement hors voirie utilisent leur voiture pour aller travailler ; sans place de stationnement, ils ne sont plus que 34 %. L'étude réalisée par le CERTU et l'EPFL montrait la prédominance de l'utilisation de la voiture particulière pour les déplacements domicile - travail dans les agglomérations françaises par rapport aux agglomérations suisses. Le principal facteur explicatif est la possibilité de stationner sur le lieu de travail, bien supérieure en France.

A l'époque de l'étude, Grenoble et Genève avaient la même population, mais Grenoble comptait quasiment deux fois plus de places de stationnement ; et Besançon, dont la population était trois fois inférieure à celle de l'agglomération de Genève comptait le même nombre de places de stationnement.

➔ Réduire, mais surtout réglementer et organiser le stationnement sur voirie peut diminuer la congestion et les temps de parcours, et fluidifier les déplacements motorisés grâce à une réduction du temps de recherche d'une place. Les effets sur les émissions de polluants de mesures limitant le stationnement sur voirie ont fait l'objet d'évaluations : on retient des ordres de grandeurs de 1 à 17 % de gains sur les émissions.

Le doublement des tarifs de stationnement à Göteborg a permis de réduire l'occupation des aires de stationnement payantes de 20 %, mais, au bout d'un an, l'occupation du stationnement a retrouvé son niveau initial.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- L'espace public est de plus en plus rare et contraint. Aussi, les pouvoirs publics ne peuvent-ils plus comme par le passé répondre favorablement à toutes les demandes de stationnement en centre ville.

- Baisse du nombre de véhicules x kilomètres et donc des nuisances associées au transport routier.



- Migration de certaines activités à l'extérieur de la zone de stationnement payant.

- L'offre de stationnement public est souvent minoritaire par rapport au stationnement privé, d'où l'intérêt des outils PLU, PDE.

- La gestion du stationnement, notamment en ville-centre, ainsi qu'un contrôle rigoureux sont indispensables pour provoquer des reports modaux significatifs.

➔ La loi sur l'air a fait de l'organisation du stationnement l'une des orientations clés à suivre par les PDU.

- **Action « Réglementation et tarification »**

Principe : Deux outils réglementaires peuvent être utilisés par les communes : les durées limitées (de type "zones bleues", zones "matin/après-midi") ou le stationnement payant. Le stationnement payant permet de favoriser certaines catégories d'usagers : les tarifications courtes durées favorisent les visiteurs, les tarifications mixtes courte durée / résidents privilégient le stationnement des visiteurs et des résidents.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- En première approche, on peut retenir qu'une modification de 10 % du tarif de stationnement a pour effet de faire baisser de 1 à 3 % le nombre de véhicules x kilomètres à destination des zones de stationnement concernées et d'augmenter de 0,5 à 1,5 % la clientèle des transports en commun (en voyageur x kilomètre).



- Les usagers pendulaires seront davantage affectés par l'accroissement du tarif horaire que des visiteurs de courte durée. En conséquence, pour analyser les impacts d'une modification du tarif de stationnement, la durée moyenne de stationnement doit être connue, ce qui dépend de la répartition des motifs des déplacements concernés.

- **Action « Contrôle du stationnement payant »**

Principe : Le stationnement payant est le premier élément qui peut être utilisé pour répondre à des objectifs en matière de politique de déplacements, d'où la nécessité d'une surveillance efficace.

Retour d'expérience sur cette action :

Un guide technique sur l'élaboration des plans locaux de stationnement, rédigé dans le cadre du PDU Île-de-France précise que, compte tenu des comportements en vigueur chez les automobilistes, on a constaté qu'en dessous de 2 procès-verbaux par place et par mois, la verbalisation risque d'être insuffisante pour assurer un bon fonctionnement de la zone de stationnement réglementé.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- Meilleur respect de la réglementation liée au stationnement



- Mobilisation de moyen et de personnel pour le contrôle

- **Action « Parcs de stationnement : parcs-relais (P+R) »**

La plupart des collectivités ont construit de nombreux parcs de stationnement. Dans la majeure partie des cas, deux types de clientèle les fréquentent : les abonnés, qui peuvent être des résidents ou des pendulaires, et les visiteurs. Les abonnements sont un moyen intéressant d'assurer un remplissage minimum des parcs de stationnement, surtout lorsqu'ils sont peu fréquentés par les visiteurs.

Principe : Les systèmes de parcs-relais (P+R) peuvent être avantageusement mis en œuvre.

Il est recommandé de limiter le stationnement en centre-ville et de favoriser leur implantation en périphérie, à proximité des stations et arrêts de transports collectifs, et de mettre en place des panneaux à messages variables destinés à orienter les usagers, soit en leur déconseillant d'accéder au centre, soit en leur indiquant la présence des parcs-relais et la possibilité d'accéder depuis eux aux transports collectifs.

Retour d'expérience sur cette action :

De nombreux automobilistes sont à la recherche de places de stationnement. Certaines études montrent que 5 à 10 % des kilomètres parcourus en zones urbaines denses relèvent de ce motif, à l'origine de dépenses énergétiques et d'émissions polluantes. Des systèmes permettent, grâce à des panneaux à messages variables et des équipements embarqués dans les véhicules, d'orienter les automobilistes vers des parcs de stationnement sous-utilisés. À Cologne, on a évalué à 30 % le gain de kilomètres parcourus pour la recherche d'une place de stationnement grâce à la mise en place de ces systèmes. De nombreuses villes étrangères (Amsterdam, Munich, Stuttgart, Fribourg, Salzbourg) se sont lancées dans des politiques de parcs-relais.

Avantages et inconvénients de cette mesure :

- Contribution à la décongestion des voiries.

- Limitation des nuisances liées au transport routier.



- Ne peuvent cependant pas favoriser la modération de l'usage de la voiture vers les centres-villes à eux seuls.

➔ **Décideurs et citoyens sont devant l'obligation de lutter contre les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique. Le plan de déplacements urbains n'est certes pas le seul outil existant, mais, dès lors que l'ambition existe, il peut constituer un levier puissant pour faire évoluer les pratiques de mobilité et maîtriser les véhicules-kilomètres parcourus, pour les déplacements de personnes et pour les transports de marchandises.**

L'important est que le PDU comporte des actions suffisamment ambitieuses sur la maîtrise des déplacements de personnes et de marchandises, par la mise en place de moyens efficaces permettant de faire évoluer les indicateurs de l'état de l'environnement.

L'échéance d'un PDU (5 ans) n'est en effet pas suffisante pour obtenir des résultats visibles : seule la succession de plusieurs générations de PDU permettra d'y parvenir, pour autant qu'il y ait continuité et cohérence dans les politiques qui l'appliquent. C'est sur le plus long terme que les objectifs pourront être atteints avec la révision ou le renouvellement du PDU.