ZAC DE LA CONSTANCE

DOSSIER DE RÉALISATION DE ZAC

5. COMPLEMENT A L'ETUDE D'IMPACT

5.1 ANNEXE 1 // Actualisation étude Air et Santé 2019

Novembre 2019

Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s)	Martin JOFFRE
Volume du document	Actualisation de l'Étude Air et Santé
Version	V1

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
V1	09/12/2019	Martin JOFFRE	Géraldine DEIBER	

SOMMAIRE

1 - PRÉAMBULE 11
1.1 - Objet de l'étude 11
1.2 - Rappel réglementaire 11
1.3 - Cadre réglementaire de l'étude 13
1.3.1 - Niveau de l'étude 13
1.3.2 - Contenu de l'étude 13
1.3.3 - Horizons d'étude 14
1.3.4 - Zone d'étude 14
1.3.5 - Polluants étudiés 15
1.4 - Notions générales sur les polluants atmosphériques 16
1.4.1 - Origine et toxicité des principaux polluants atmosphériques 16
1.4.1.1 - Les oxydes d'azote (NO_x) 16
1.4.1.2 - Le monoxyde de carbone (CO) 16
1.4.1.3 - Le dioxyde de soufre (SO_2) 17
1.4.1.4 - Les Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM) 17
1.4.1.5 - Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) 17
1.4.1.6 - Les particules en suspension 20
1.4.1.7 - Les métaux lourds 20
1.4.2 - Réglementation dans l'air ambiant 21
2 - CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE 23
2.1 - Populations et lieux vulnérables 23
2.1.1 - Densité et population générale 23
2.1.2 - Établissements vulnérables 25
2.2 - Émissions polluantes 27
2.2.1 - Émissions polluantes de la métropole d'Aix-Marseille-Provence 27
2.2.1.1 - Les oxydes d'azote (NO et NO_2) 27
2.2.1.2 - Le dioxyde de soufre (SO_2) 28
2.2.1.3 - Les Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM) 29
2.2.1.4 - Le monoxyde de carbone (CO) 30
2.2.1.5 - Les Particules PM10 et PM2.5 31
2.2.1.6 - Le benzène (C_6H_6) 34
2.2.1.7 - Les métaux 34
2.2.1.8 - L'ozone (O_3) 34
2.2.2 - Sources d'émissions industrielles dans la zone d'étude 34
2.3 - Qualité de l'air 35
2.3.1 - Surveillance permanente 35
2.3.1.1 - Réseau de surveillance 35
2.3.1.2 - Indice ATMO 37
2.3.2 - Dans la zone d'étude 38
2.3.3 - Documents de planification pour l'air et la santé 41

2.3.3.1 - Le Schéma Régional Climat, Air, Énergie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (SRCAE) 41
2.3.3.2 - Le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) 42
2.3.3.3 - Le Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) 43
2.3.3.4 - Le Plan Climat Énergie Territorial de la ville d'Aix-en-Provence (PCET) 46
2.3.3.5 - Le Plan National et le Plan Régional Santé Environnement (PNSE3 et PRSE3) 47
2.3.4 - Mesures in situ de la qualité de l'air 47
2.3.4.1 - Périodes et moyens de mesures 48
2.3.4.2 - Choix et répartition des sites 51
2.3.4.3 - Conditions météorologiques 53
2.3.4.4 - Validité des points de mesure 56
2.3.4.5 - Résultats des campagnes de mesure et interprétation 57
2.4 - Conclusion 63

3 - ÉVALUATION DE L'IMPACT DU PROJET SUR LA QUALITÉ DE L'AIR 64
3.1 - Méthodologie 64
3.1.1 - Réseau routier et trafics 64
3.1.2 - Évaluation des émissions routières 68
3.1.3 - Évaluation des teneurs en polluants 68
3.2 - Évaluation de l'impact du projet sur la qualité de l'air 71
3.2.1 - Bilan des émissions routières dans la zone d'étude 71
3.2.1.1 - Analyse comparative des bilans des émissions entre l'État de référence et l'horizon de mise en service sans projet 71
3.2.1.2 - Analyse comparative des bilans des émissions à l'horizon de mise en service 75
3.2.2 - Évaluation des teneurs dans l'air ambiant 81
3.2.2.1 - Cartographies des teneurs en polluant 81
3.2.2.2 - Teneurs en polluants dans l'emprise du projet 86
3.2.2.3 - Comparaison aux normes de qualité de l'air 87
3.3 - Conclusion 89

4 - ÉVALUATION DE L'IMPACT DU PROJET SUR L'EXPOSITION DES POPULATIONS 90
4.1 - Méthodologie 90
4.2 - Estimation de la population dans la bande d'étude 90
4.3 - Résultats de l'IPP 91
4.4 - Conclusion de l'IPP 91

5 - ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES 92
5.1 - Rappel méthodologique 92
5.2 - Identification des dangers et des scénarios d'exposition 93
5.2.1 - Considérations générales sur les substances et les valeurs toxicologiques de références 93
5.2.2 - Scénario d'exposition 94
5.2.3 - Choix des traceurs de risque 94
5.2.4 - Choix des relations dose réponse 95
5.3 - Évaluation de l'exposition des populations 99

5.3.1 - Paramètres d'exposition 99
5.3.2 - Évaluation de l'exposition par inhalation 100
5.3.3 - Évaluation de l'exposition par ingestion 107
5.3.3.1 - Estimation des concentrations en polluants dans les sols 107
5.3.3.2 - Estimation des doses ingérées 109
5.4 - Caractérisation de risques sanitaires en exposition chronique 111
5.4.1 - Caractérisation du risque par inhalation 111
5.4.1.1 - Polluants à effets à seuil 112
5.4.1.2 - Polluants à effets sans seuil (risques cancérigènes) 114
5.4.2 - Caractérisation du risque par ingestion 115
5.4.2.1 - Polluants à effets à seuil 116
5.4.2.2 - Polluants à effets sans seuil 118
5.5 - Caractérisation de risques sanitaires en exposition aiguë 118
5.5.1 - Méthodologie 118
5.5.2 - Caractérisation du risque sanitaire aigu 118
5.6 - Revue des incertitudes 119
5.6.1 - Facteurs de sous-estimation des risques 119
5.6.2 - Facteurs de sur-estimation des risques 120
5.6.3 - Facteurs d'incertitude dont l'influence sur le résultat n'est pas connue 120
5.6.4 - Synthèse des facteurs d'incertitude 120
5.7 - Conclusion 121

6 - ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT 122
6.1 - Pollution sensible 122
6.1.1 - Odeurs 122
6.1.2 - Transparence de l'air 123
6.1.3 - Nuages de poussière 123
6.2 - Pollution atmosphérique et environnement 124
6.2.1 - Effets sur les sols 124
6.2.2 - Effets sur la flore 124
6.2.2.1 - L'ozone 124
6.2.2.2 - Les pluies acides 125
6.2.2.3 - Les bio-indicateurs 125
6.2.3 - Effets sur la faune 125
6.2.4 - Effets sur les bâtiments 126
6.2.5 - Effets sur l'économie 127
6.3 - Gaz à effet de serre 127
6.3.1 - Dérèglement climatique 127
6.3.2 - Actions des GES 127
6.3.3 - Calcul des émissions de GES liées au projet 129
6.4 - Consommation énergétique 130

7 - LES MESURES ET LA DÉMARCHE ERC « EVITER, RÉDUIRE, COMPENSER » 131
7.1 - Doctrine ERC - Généralités 131
7.1.1 - Éviter 131
7.1.2 - Réduire 131
7.1.3 - Compenser 132
7.2 - Incidences du projet sur la qualité de l'air et mesures associées 132
7.2.1 - Effets en phase chantier et mesures associées 132
7.2.1.1 - Effets 132
7.2.1.2 - Mesures 132
7.2.2 - Effets en phases exploitation et mesures associées 133
7.2.2.1 - Effets 133
7.2.2.2 - Mesures 133

8 - MONÉTARISATION ET ANALYSE DES COÛTS COLLECTIFS LIÉS À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ET À L'EFFET DE SERRE 136
8.1 - Méthodologie 136
8.1.1 - Monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique 136
8.1.1.1 - Valeurs de référence 136
8.1.1.2 - Répartition des véhicules et carburants aux horizons de l'étude 136
8.1.1.3 - Répartition de l'urbanisation aux horizons de l'étude 137
8.1.1.4 - Croissance du PIB 138
8.1.2 - Monétarisation des coûts collectifs liés à l'effet de serre 138
8.1.2.1 - Valeurs de référence 138
8.1.2.2 - Coûts de la tonne de CO_2 aux horizons d'étude 138
8.1.3 - Monétarisation des effets amont – aval 139
8.1.4 - Prise en compte des risques 139
8.2 - Résultats de la monétarisation 140
8.2.1 - Monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique 140
8.2.2 - Monétarisation des coûts collectifs liés à l'effet de serre 141
8.2.3 - Monétarisation des coûts collectifs liés aux effets amont – aval 141
8.2.4 - Synthèse 141

9 - CONCLUSION 143

10 - ANNEXES 145
10.1 - Fiches de mesure 145
10.2 - Résultats des mesures 157
10.3 - Fiches toxicologiques 158
10.3.1 - Arsenic 158
10.3.2 - Benzène 161
10.3.3 - Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP 163
10.3.4 - 1,3-butadiène 164
10.3.5 - Chrome 166

10.3.6 - Dioxyde d'azote 167
10.3.7 - Nickel 169
10.3.8 - Poussières PM2.5 et PM10 171
10.4 - Paramètres de calcul des doses ingérées 172

TABLEAUX

Tableau 1 – Niveau d'étude en fonction du trafic, de la densité de population et de la longueur du projet 13
Tableau 2 – Critères nationaux de la qualité de l'air 22
Tableau 3 – Densité de population et population des IRIS à proximité du projet 24
Tableau 4 – Etablissements vulnérables à proximité de l'emprise du projet 25
Tableau 5 – Sites sensibles à proximité de l'emprise du projet 25
Tableau 6 – Émissions atmosphériques industrielles à Aix-en-Provence 34
Tableau 7 – Teneurs moyennes annuelles pour les stations AtmoSud retenues 39
Tableau 8 – Teneurs moyennes annuelles en HAP (hors benzo(a)pyrène) pour la station Aix Ecole d'Art 39
Tableau 9 – Objectifs sectoriels du SRCAE Provence-Alpes-Côte d'Azur 42
Tableau 10 – Objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre du SRCAE Provence-Alpes-Côte d'Azur 42
Tableau 11 – Objectifs de réduction des émissions du PPA des Bouches du-Rhône aux horizons 2015 et 2020 43
Tableau 12 – Critères de localisation des sites de mesures Egis 52
Tableau 13 – Températures et précipitations relevées à la station de Marseille Marignane - Aéroport 54
Tableau 14 – Résultats des mesures – Polluants gazeux 57
Tableau 15 – Résultats des mesures – Particules PM10 et PM2.5 59
Tableau 16 – Résultats des mesures – Métaux 60
Tableau 17 – Résultats des mesures – HAP 60
Tableau 18 – Comparaison des résultats des mesures Egis aux données AtmoSud 62
Tableau 19 – Trafics du réseau routier 66
Tableau 20 – Kilométrage parcouru 67
Tableau 21 – Principaux paramètres pour la dispersion atmosphérique dans ADMS Roads 70
Tableau 22 – Bilan des émissions routières à l'État de référence – 2013 72
Tableau 23 – Bilan des émissions routières au Fil de l'eau – partie 1 – 2033 73
Tableau 24 – Bilan des émissions routières au Fil de l'eau – partie 2 – 2033 74
Tableau 25 – Bilan des émissions routières à l'État projeté – 2033 75
Tableau 26 – Bilan des émissions routières à l'État projeté –partie 1 – 2033 76
Tableau 27 – Bilan des émissions routières à l'État projeté –partie 2 – 2033 77
Tableau 28 – Bilan des émissions routières à l'État projeté –partie 3 – 2033 78
Tableau 29 – Teneurs moyennes et maximales dans l'emprise du projet 87
Tableau 30 – Comparaison des teneurs maximales aux normes en vigueur 88
Tableau 31 – IPP du dioxyde d'azote dans l'emprise du projet 91
Tableau 32 – Polluants retenus pour l'évaluation des risques sanitaires 95
Tableau 33 – Facteurs d'équivalence toxique 96
Tableau 34 – Valeurs Guide pour une exposition chronique par inhalation 97
Tableau 35 – VTR pour une exposition chronique par inhalation pour des effets à seuil 97
Tableau 36 – ERU pour une exposition chronique par inhalation pour des effets sans seuil 98
Tableau 37 – VTR pour une expositin aiguë par inhalation 98
Tableau 38 – VTR pour une exposition chronique par ingestion pour des effets à seuil 98
Tableau 39 – ERU pour une exposition chronique par ingestion pour des effets sans seuil 99
Tableau 40 – Paramètres d'exposition dans le cadre de l'EQRS pour une exposition par inhalation et par ingestion 99
Tableau 41 – Concentrations moyennes annuelles d'exposition pour les substances traceurs du risque par inhalation en exposition chronique 102
Tableau 42 – Concentrations maximales d'exposition pour les substances traceurs du risque par inhalation en exposition aiguë 106
Tableau 43 – Flux de dépôts moyen au sol pour les polluants traceurs de risque 108

Tableau 44 – Dose journalière d'exposition des enfants pour les traceurs de risque considérés par ingestion en exposition chronique 109
Tableau 45 – Concentrations inhalées pour le dioxyde d'azote et les particules vs Valeurs Guides OMS 112
Tableau 46 – Quotient de danger – Exposition chronique pour les effets à seuil 113
Tableau 47 – Excès de risque individuel – Exposition chronique pour les effets sans seuil 115
Tableau 48 – Quotient de danger – Exposition chronique pour les effets à seuil par ingestion 116
Tableau 49 – Excès de Risque Individuel – Exposition chronique pour les effets sans seuil par ingestion 118
Tableau 50 – Quotient de danger – Exposition aiguë par inhalation 119
Tableau 51 – Tableau des principaux PRG à 100 ans 128
Tableau 52 – Bilan des émissions de dioxyde de carbone du réseau routier étudié (en kg/jour) 129
Tableau 53 – Consommation énergétique (en kg/jour) 130
Tableau 54 – Valeurs de référence de la pollution atmosphérique pour le mode routier 136
Tableau 55 – Répartition des véhicules en 2013 et en 2033 137
Tableau 56 – Répartition de l'urbanisation dans l'emprise du projet 137
Tableau 57 – Valeurs de référence de la tonne de dioxyde de carbone 138
Tableau 58 – Taux d'évolution du prix en €$_{2010}$ de la tonne de dioxyde de carbone 139
Tableau 59 – Coût de la tonne de CO_2 en €$_{2010}$ 139
Tableau 60 – Valeurs tutélaires des émissions atmosphériques en €$_{2010}$ pour 100 véh.km 139
Tableau 61 – Taux d'actualisation des risques liés à la construction 140
Tableau 62 – Monétarisation des coûts annuels liés à la pollution atmosphérique 141
Tableau 63 – Monétarisation des coûts annuels liés à l'effet de serre 141
Tableau 64 – Monétarisation des coûts collectifs liés aux effets amont – aval 141
Tableau 65 – Synthèse des coûts annuels liés à la pollution atmosphérique, à l'effet de serre et aux effets amont – aval 142
Tableau 66 – Présentation des ERU pour les effets sans seuil par inhalation de l'arsenic 159
Tableau 67 – Présentation des VTR pour les effets à seuil par inhalation de l'arsenic 159
Tableau 68 – Présentation des ERU pour les effets sans seuil par ingestion de l'arsenic 160
Tableau 69 – Présentation des VTR pour les effets sans seuil par ingestion de l'arsenic 160
Tableau 70 – Présentation des VTR pour les effets à seuil par inhalation du benzène 161
Tableau 71 – Présentation des VTR pour les effets sans seuil par inhalation du benzène 162
Tableau 72 – Présentation des VTR pour des effets en exposition aiguë pour le benzène 162
Tableau 73 – Présentation des ERU pour les effets sans seuilpar inhalation de benzo(a)pyrène 163
Tableau 74 – Présentation des VTR pour les effets à seuilpar inhalation de benzo(a)pyrène 164
Tableau 75 – Présentation des VTR pour les effets sans seuil par ingestion des HAP 164
Tableau 76 – Présentation des VTR pour les effets à seuil par ingestion du benzo(a)pyrène 164
Tableau 77 – Présentation des VTR par inhalation du 1,3-butadiène 165
Tableau 78 – Présentation des ERU par inhalation du 1,3-butadiène 165
Tableau 79 – Présentation des ERU pour les effets sans seuil par inhalation du chrome VI 166
Tableau 80 – Présentation des VTR pour les effets à seuil par inhalation du chrome VI particulaire 167
Tableau 81 – Présentation des VTR pour les effets à seuil par ingestion de chrome III 167
Tableau 82 – Présentation de la valeur guide pour les effets à seuil par inhalation des NOx 168
Tableau 83 – Présentation des VTR pour les effets en exposition aigue pour le NO_2 168
Tableau 84 – Présentation des ERU pour les effets sans seuil par inhalation du nickel 169
Tableau 85 – Présentation des VTR pour les effets à seuil par inhalation du nickel 170
Tableau 86 – Présentation des VTR pour les effets à seuil par ingestion du nickel 170
Tableau 87 – Présentation des valeurs guide pour les effets à seuil par inhalation en exposition chronique des PM2.5 et PM10 171
Tableau 88 – Présentation des valeurs guide des particules pour une exposition aiguë des PM2.5 et PM10 171
Tableau 89 – Concentration de polluants dans les végétaux par type de végétaux 172
Tableau 90 – Concentrations de polluants dans les végétaux par type de polluants 172

Tableau 91 – Paramètres physiologiques d'exposition 172
Tableau 92 – Quantités d'aliments autoconsommés 173

FIGURES

Figure 1 – Zone d'étude – Emprise du projet 15
Figure 2 – Densité des IRIS à l'horizon 2016 24
Figure 3 – Établissements vulnérables 26
Figure 4 – Émissions d'oxydes d'azote en 2017 de la métropole d'Aix-Marseille-Provence 28
Figure 5 – Émissions de dioxyde de soufre en 2017 de la métropole d'Aix-Marseille-Provence 29
Figure 6 – Émissions de COVNM en 2017 de la métropole d'Aix-Marseille-Provence 30
Figure 7 – Émissions de monoxyde de carbone en 2017 de la métropole d'Aix-Marseille-Provence 31
Figure 8 – Émissions de PM10 en 2017 de la métropole d'Aix-Marseille-Provence 32
Figure 9 – Émissions de PM2.5 en 2017 de la métropole d'Aix-Marseille-Provence 33
Figure 10 – Réseau de surveillance de la qualité de l'air 35
Figure 11 – Indice ATMO de l'est des Bouches-du-Rhône en 2016 38
Figure 12 – Localisation des stations ATMOSud et des stations Météo France 40
Figure 13 – Réduction des émissions par rapport à 2005 45
Figure 14 – Amélioration de la qualité de l'air 45
Figure 15 – Disposition des capteurs de dioxyde d'azote et de benzène dans le boîtier 49
Figure 16 – Capteurs de dioxyde de soufre et de monoxyde de carbone et disposition dans le boîtier 49
Figure 17 – PARTISOL PLUS 2025i BaP 51
Figure 18 – Photographies des sites de mesures 09 et 06 52
Figure 19 – Plan d'échantillonnage 53
Figure 20 – Roses des vents sur la station Marseille Marignane - Aéroport 55
Figure 21 – Photographie du site de mesure Egis et de la station AtmoSud d'Aix Ecole d'Art 56
Figure 22 – Teneurs en polluants gazeux 58
Figure 23 – Teneurs en particules PM10 et PM2.5 59
Figure 24 – Réseau routier retenu 65
Figure 25 – Évolution des émissions totales par polluant et par horizon 79
Figure 26 – Teneurs en dioxyde d'azote – État de référence 2013 82
Figure 27 – Teneurs en dioxyde d'azote – Fil de l'eau 2033 83
Figure 28 – Teneurs en dioxyde d'azote – État projeté 2033 84
Figure 29 – Teneurs en dioxyde d'azote – État projeté 2033 – Zoom Nord de la ZAC 85
Figure 30 – Localisation des points récepteurs 100
Figure 31 – Comparaison de situation sans et avec une pollution provoquant un smog à Paris 123
Figure 32 – Ré-envol des résidus de stockage d'une usine de production d'alumines 124
Figure 33 – Impact foliaire de l'ozone 125
Figure 34 – Impact des pluies acides sur une forêt de conifères 125
Figure 35 – Impact de la pollution atmosphérique sur les matériaux 126
Figure 36 : Coupe de la voirie au nord la zone 134
Figure 37 : Schéma de circulation et des mobilités 134

1 - PRÉAMBULE

1.1 - Objet de l'étude

Dans le cadre du projet d'aménagement de la ZAC de la Constance à Aix-en-Provence, EGIS Environnement a été mandaté en 2013 par le Pays d'Aix Territoires pour la réalisation de l'étude Air et Santé.

Depuis cette étude, la ZAC a été créée en juillet 2015, un projet d'urbanisme a été retenu fin 2016, les études d'Avant-Projet ont été finalisée en 2018 et une procédure de révision allégée du PLU d'Aix-en-Provence a été lancée en fin d'année 2018 en vue d'ouvrir à l'urbanisme le secteur AU2 de la ZAC. Dans le cadre de cette procédure de révision allégée du PLU et de l'évaluation environnementale de son impact, une réactualisation de l'étude Air et Santé a été réalisé en 2018 afin d'affiner l'impact des émissions atmosphériques, liées au trafic routier existant (notamment les autoroutes A8 et A51) et au trafic lié au projet.

Dans son avis daté du 25 avril 2019[1] sur l'évaluation environnementale de la révision allégée du PLU, la Mission régionale d'autorité environnementale (Mrae) a porté plusieurs avis et recommandations sur le projet, et a notamment préconisé d'actualiser l'étude d'impact en référence à la note technique du 22 février 2019.

Alors que le projet est entré dans la phase de constitution du dossier de réalisation de la ZAC, la SPLA Pays d'Aix Territoires a missionné EGIS afin de **mettre à jour l'étude air et santé de 2018 en tenant compte des recommandations de l'Autorité environnementale.** En effet, comme indiqué dans l'article R. 311-7 du code de l'urbanisme, « le dossier de réalisation complète en tant que de besoin le contenu de l'étude d'impact mentionnée à l'article R. 311-2 ».

Cette actualisation de l'étude air et santé permettra d'affiner l'impact des émissions atmosphériques, liées au trafic routier existant (notamment les autoroutes A8 et A51) et au trafic lié au projet, en particulier sur les zone d'habitations les plus proches ainsi que sur le groupe scolaire de l'ilot 1Di.

La présente mission entre ainsi dans le cadre de la réglementation et vise à évaluer **les impacts du projet sur la qualité de l'air et la santé des populations.** L'étude est à réaliser en vue de son intégration dans **le dossier de réalisation de la ZAC de La Constance.**

La production de ce dossier réglementaire sera réalisée en référence à la **note technique du 22 février 2019**[2] relative aux volets air et santé des études d'impact des infrastructures routières. Cette récente note technique est venue actualiser la précédente note de 2005, annexée à la circulaire DGS/SD7B/2005/273 du 25 février 2005. La méthodologie déployée fera l'objet d'un cadrage avec l'ARS.

1.2 - Rappel réglementaire

En matière de pollution atmosphérique, la réglementation française est transcrite au travers de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Loi L.A.U.R.E.) du 30 décembre 1996, codifiée aux articles L.220-1 et L.220-2 du code de l'environnement, qui définit « le droit reconnu à chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé ».

La méthodologie des études air et santé des études d'impact s'inscrit dans le référentiel réglementaire et s'appuie sur les documents suivants :

- Code de l'Environnement, avec en particulier :
  - L'article L 122-1 (partie législative) imposant que les projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés qui, par leur nature, leurs dimensions ou leur localisation sont susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement ou la santé humaine sont précédés d'une étude d'impact ;

---

[1] Avis délibéré de la mission régionale d'autorité environnementale de région Provence-Alpes-Côte d'Azur sur la révision allégée n°2 du plan local d'urbanisme (PLU) d'Aix-en-Provence (13)

[2] Guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières - Document visé par la note technique (NOR TRET1833075N) relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact. Version du document du 22 02 2019 - CEREMA

- L'article R 122-5 (partie réglementaire) décrivant le contenu attendu d'une étude d'impact et prévoyant qu'une analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents du projet sur l'environnement soit réalisée, en particulier sur l'air et la santé. Ainsi, conformément à cet article, le volet « air et santé » des études environnement doit fournir dans le cadre des études préalables les éléments techniques nécessaires à la réalisation de l'étude d'impact présentée à l'enquête publique ;

- Circulaire Direction Générale de la Santé (DGS) n°2000-61 du 3 février 2000 relative au guide de lecture et d'analyse du volet sanitaire des études d'impacts ;
- Directive européenne n°2008/50/CE du 21 mai 2008 relative à la qualité de l'air ambiant et à un air pur pour l'Europe et qui fusionne les Directives 1999/30/CE, 2000/69/CE et 2002/3/CE ;
- Circulaire Direction Générale de la Santé – Direction des Routes – Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (DGS-DR-MEDD) n°2005-273 du 25 février 2005 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières ;
- Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires des études d'impacts routières et ferroviaires – DGS, Institut de Veille Sanitaire (InVS), Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU), Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements (SETRA), Agence de De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) - novembre 2004 ;
- Études d'impact des infrastructures routières, volet air et santé, état initial et recueil de données - SETRA, CERTU – février 2009 ;
- Avis de l'Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) relatif à la sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières - juillet 2012 ;
- Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact – InVS - février 2000 ;
- Guide méthodologique pour l'évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées – Institut National de l'Environnement industriel et des RISques (INERIS) – 2013 ;
- Guide de recommandations sur l'échantillonnage spatial intitulé « Adaptation des plans d'échantillonnage aux objectifs des campagnes », Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) – 2007 ;
- Note de la DGS n°2014-307 du 31 octobre 2014 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 et de la gestion des sites et sols pollués ;
- Note technique relative à l'évaluation des projets de transport, Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer (DGITM) – 27 juin 2014 ;
- Étude d'impact - Projets d'infrastructures linéaires de transport – Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) – avril 2016 ;
- Courrier de la Direction des Infrastructures de Transport (DGITM/DIT) précisant les éléments à prendre en considération en attendant la révision de la circulaire du 25 février 2005 ;
- Instruction technique relative aux modalités d'élaboration des opérations d'investissement et de gestion sur le réseau routier national – DGITM – 8 novembre 2018 ;
- Note technique relative à la prise en compte des effets sur la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières – Ministère de la Transition écologique et solidaire et Ministère des Solidarités et de la Santé – 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières – CEREMA – 22 février 2019.

1.3 - Cadre réglementaire de l'étude

1.3.1 - Niveau de l'étude

La note technique du 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du CEREMA fixent le cadre et le contenu des études air et santé en fonction des enjeux du projet, selon quatre niveaux d'études (I à IV). L'étude de niveau I a le contenu le plus détaillé. Ces niveaux sont définis en fonction des trafics attendus à terme sur l'infrastructure et de la densité de population à proximité de celle-ci (*cf.* Tableau 1).

Le projet de ZAC implique la création de voies routières à l'intérieur du périmètre de la ZAC. Sur la base des études précédentes de trafic, les voies routières nouvellement créées supporteraient jusqu'à environ 9 000 véhicules/jour (au maximum).

Par ailleurs, les trafics actuels des autoroutes A8 et A51 bordant le projet de la ZAC avoisinent ou dépassent ponctuellement les 50 000 véhicules par jour.

Le milieu d'implantation du projet comprend des zones essentiellement en friches agricoles qui seront requalifiées en zones urbaines. L'aménagement va consister à fortement augmenter la densité sur ce secteur et comprendra des populations vulnérables au sens de la pollution de l'air (écoles).

Enfin, il est à noter que la commune d'Aix-en-Provence fait partie du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) des Bouches-du-Rhône.

À partir de ces éléments et conformément à la note technique du 22 février 2019, l'étude serait du type Niveau III (en excluant le trafic de l'autoroute qui ne fait pas partie du projet), à rehausser en niveau II du fait de l'existence du PPA. Néanmoins, compte tenu de la proximité de l'autoroute et suite aux remarques de la MRae, l'étude serait à réactualiser sur la base d'un **niveau I**.

TABLEAU 1 – NIVEAU D'ÉTUDE EN FONCTION DU TRAFIC, DE LA DENSITÉ DE POPULATION ET DE LA LONGUEUR DU PROJET

Trafic à l'horizon d'étude / Densité dans la bande d'étude	>50 000 véh/j	25 000 à 50 000 véh/j	10 000 à 25 000 véh/j	≤ 10 000 véh/j
Bâti avec densité ≥ 10 000 hab/km²	I	I	II	II si L projet > 5 km ou III si L projet ≤ 5 km
Bâti avec densité > 2 000 et < 10 000 hab/km²	I	II	II	II si L projet > 25 km ou III si L projet ≤ 25 km
Bâti avec densité ≤ 2 000 hab/km²	I	II	II	II si L projet > 50 km ou III si L projet ≤ 50 km
Pas de bâti	III	III	IV	IV

Source : Note technique relative à la prise en compte des effets sur la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières – Ministère de la Transition écologique et solidaire et Ministère des Solidarités et de la Santé – 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières – CEREMA – 22 février 2019

1.3.2 - Contenu de l'étude

L'étude air et santé se compose :

- D'une **caractérisation de l'état de référence** du domaine d'étude avec notamment **des mesures in situ de la qualité de l'air qui viendront réactualiser les précédentes campagnes de mesure ;**

- D'une **évaluation de l'impact du projet** sur la qualité de l'air avec :
  - Une estimation des émissions polluantes induites par le trafic routier (conformément à la méthodologie COPERT) ;
  - Une estimation des teneurs en polluants dans la bande d'étude (modélisation gaussienne de la dispersion atmosphérique des émissions des polluants avec le modèle ADMS Road) ;
- D'une **évaluation quantitative des risques sanitaires** sur les populations ;
- D'une **analyse portant sur les effets directs et indirects d'autres critères** tels que :
  - La pollution sensible : odeurs, transparence de l'air, nuages de poussières, etc. ;
  - Les impacts de la pollution atmosphérique sur la faune, la flore, le sol et les bâtiments… ;
  - Les émissions de GES ;
  - La consommation énergétique ;
- Des propositions, le cas échéant, de **mesures compensatoires et réductrices** en phase d'exploitation et en phase chantier ;
- D'une analyse des effets induits du projet sur l'ensemble de l'aire d'étude (amélioration-dégradation) sous la forme **d'une analyse des coûts collectifs** de l'impact sur la qualité de l'air et l'effet de serre et des avantages / inconvénients induits pour la collectivité (destinée à alimenter le volet socio-économique de l'étude.

1.3.3 - Horizons d'étude

D'après la note technique du 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du CEREMA, l'étude air et santé est menée pour cinq scénarios situés à trois horizons d'étude différents. Ce document étant une reprise d'une étude basée sur la note méthodologique de 2005, trois scénarios sont pris en compte. Ces scénarios sont usuellement nommés :

- La situation actuelle nommé **État de référence – année 2013** ;
- La situation sans projet à l'horizon futur nommé **Fil de l'eau de l'année 2033** ;
- La situation avec projet à l'horizon futur nommé **État projeté de l'année 2033** ;

L'état au fil de l'eau correspond à un horizon lointain dans l'hypothèse où le projet envisagé ne serait pas réalisé et considérant les autres évolutions prévisibles des infrastructures. L'état projeté correspond au même horizon lointain avec la réalisation du projet.

La comparaison des résultats obtenus pour ces trois scénarios permet d'apprécier l'impact du projet sur la qualité de l'air et sur la santé à échéance de sa mise en service et son exploitation.

1.3.4 - Zone d'étude

Conformément à la note technique et au guide méthodologique précités, la zone d'étude et le réseau routier étudié seront déterminés par le projet et par le réseau routier subissant, du fait de la réalisation du projet, une variation (augmentation ou diminution) de trafic supérieure à 10% pour les tronçons dont le trafic est supérieur à 5 000 véh/jour à l'horizon de mise en service. Pour les tronçons dont le trafic est inférieur à 5 000 véh/jour, la variation retenue est de 500 véhicules minimum (en valeur absolue). En milieu urbain, la règle des ±10 % peut être appliquée sur l'heure de pointe la plus chargée (HPM ou HPS).

D'après la note technique et le guide méthodologique, une bande d'étude doit être définie. Cette étude se concentre uniquement sur la ZAC de la Constance car ce projet n'impacte pas le trafic extérieur à la ZAC. De plus, les études précédentes n'ont pas défini de bande d'étude.

Au regard des données de trafic, la zone d'étude est un rectangle de 3 km sur 1,5 km de côté, centré sur le projet. L'étude se focalise sur le périmètre de la ZAC de la Constance.

FIGURE 1 – ZONE D'ÉTUDE – EMPRISE DU PROJET

Source : Egis

1.3.5 - Polluants étudiés

Conformément à la note technique et au guide méthodologique précités dix polluants sont retenus pour les études, à savoir :

- Les oxydes d'azote – NOx (plus particulièrement le dioxyde d'azote – NO_2) ;
- Les particules PM2.5 et PM10 ;
- Le monoxyde de carbone – CO ;
- Les Composés Organiques Volatils Non Méthaniques – COVNM ;
- Le benzène – C_6H_6 ;
- Le 1,3-butadiène, pris en compte dans l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) ;
- Le dioxyde de soufre – SO_2 ;
- Trois métaux : l'arsenic – As, le nickel – Ni et le chrome – Cr, pris en compte dans l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) ;
- Le benzo[a]pyrène, représentant de la famille des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

Il convient d'ajouter 15 HAP (en plus du benzo(a)pyrène) pris en compte dans l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) :

- Acénaphtène ;
- Acénaphtylène ;
- Anthracène ;
- Benzo(a)anthracène ;

- Benzo(b)fluoranthène ;
- Benzo(k)fluoranthène ;
- Benzo(ghi)pérylène ;
- Chrysène ;
- Dibenzo(a,h)anthracène ;
- Fluorène ;
- Fluoranthène ;
- Indéno(1,2,3-cd)pyrène ;
- Phénanthrène ;
- Pyrène ;
- Benzo(j)fluoranthène.

1.4 - Notions générales sur les polluants atmosphériques

Les polluants atmosphériques sont trop nombreux pour être surveillés en totalité. Certains d'entre eux sont donc choisis parce qu'ils sont caractéristiques d'un type de pollution (industrielle, routière, etc.) et parce que leurs effets nuisibles sur l'environnement et/ou la santé sont avérés.

Ce paragraphe rappelle successivement les sources et les effets sanitaires des principaux polluants atmosphériques puis la réglementation relative à la qualité de l'air ambiant.

1.4.1 - Origine et toxicité des principaux polluants atmosphériques

1.4.1.1 - Les oxydes d'azote (NO_x)

Les oxydes d'azote (NO et NO_2) sont formés lors des processus de combustion, par oxydation de l'azote contenu dans le combustible et par quelques processus industriels. Lors de la combustion, la proportion entre le NO (monoxyde d'azote) et le NO_2 (dioxyde d'azote) varie en fonction du procédé et, notamment, de la température. Le NO, qui est émis majoritairement, s'oxyde en NO_2 et ce, d'autant plus rapidement que la température est élevée. Dans l'air ambiant, le NO_2 est également formé à partir des émissions de NO. Cette transformation chimique est étroitement dépendante de la présence d'ozone.

Les principales sources d'oxydes d'azote sont le transport routier et les installations de combustion. Le pot catalytique a permis depuis 1993, une diminution des émissions des véhicules à essence, mais l'effet reste encore peu perceptible compte tenu de la forte augmentation du trafic et de la durée de renouvellement du parc automobile. De plus, les véhicules diesel, en forte progression ces dernières années, rejettent davantage de NOx que les véhicules essences. Le dioxyde d'azote est un polluant indicateur du transport routier.

Les études épidémiologiques ont montré que les symptômes bronchitiques chez l'enfant asthmatique augmentent avec une exposition de longue durée au NO_2. A des fortes teneurs (supérieures à 200 g/m^3), sur des courtes durées, le dioxyde d'azote est gaz toxique entrainant une inflammation importante des voies respiratoires. Le NO n'est pas considéré comme un polluant nuisible pour la santé.

1.4.1.2 - Le monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone se forme lors des combustions incomplètes (gaz, charbon, fioul, bois). Ces principales sources sont le trafic routier et le chauffage résidentiel.

Le monoxyde de carbone agit comme un gaz asphyxiant. À des fortes teneurs et en milieu confiné, il se combine avec l'hémoglobine du sang empêchant l'oxygénation de l'organisme. Il peut alors causer des intoxications (maux de tête, vertiges, voire coma) et peut être mortel en cas d'exposition prolongée à des concentrations élevées.

1.4.1.3 - Le dioxyde de soufre (SO_2)

Le dioxyde de soufre est un sous-produit de la combustion du soufre contenu dans les matières organiques. Les émissions de SO_2 sont ainsi directement liées aux teneurs en soufre des combustibles (gazole, fuel, charbon...).

Le dioxyde de soufre est généralement associé à une pollution d'origine industrielle, en raison principalement des consommations en fioul lourd et en charbon de ce secteur.

Le dioxyde de soufre est un irritant des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires L'inflammation de l'appareil respiratoire entraine de la toux, une exacerbation de l'asthme, des bronchites chroniques et une sensibilisation aux infections respiratoires.

1.4.1.4 - Les Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM)

Les COVNM regroupent un ensemble de composés formées d'atomes d'hydrogène et de carbone (hydrocarbures), associés parfois à d'autres atomes comme l'azote, le chlore, le soufre, les halogènes (brome, chlore, fluor, etc.), le phosphore ou l'oxygène. Ces composés se caractérisent par une grande volatilité dans les conditions normales de température et de pression.

Ils proviennent des transports et de nombreux procédés industriels (industries chimiques, raffinage de pétrole, stockage et distribution de carburants et combustibles liquides, stockages de solvants, imprimerie, etc.) mais également d'usages domestiques (utilisation de solvants, application de peinture).

Leurs effets sont très divers selon la nature des composés : ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation des voies respiratoires, une diminution de la capacité respiratoire, ou des risques d'effets mutagènes et cancérigènes (formaldéhyde, benzène, etc.).

Le **benzène (C_6H_6)** est un Hydrocarbure Aromatique Monocyclique (HAM). Il peut être d'origine naturelle (volcans, feux de forêts, pétrole ou gaz naturel), mais il a surtout une origine anthropique (gaz d'échappement, manufactures, industrie, fumée de tabac). Il est émis majoritairement par le trafic routier, notamment les véhicules à motorisation essence dont les deux roues motorisées.

Le benzène est classé parmi les « cancérogènes certains pour l'homme » (leucémie myéloïde aiguë groupe I, Classification du CIRC). Sa toxicité hématologique par atteinte de la moelle osseuse est connue depuis longtemps. Elle touche toutes les lignées sanguines et peut se manifester par une anémie ou, plus rarement, une polyglobulie (lignée des globules rouges), une leucopénie ou parfois une hyperleucocytose (globules blancs) ou une thrombopénie (plaquettes).

Outre les expositions chroniques par inhalation, il a été retenu pour d'autres types d'effets et d'exposition (exposition aigüe et effets non cancérigènes dans l'exposition chronique).

Le **1,3-butadiène (C_4H_6)** est un gaz incolore, d'odeur légèrement aromatique (semblable à celle de l'essence automobile). Il est présent en faible quantité lors des opérations de raffinage du pétrole, lors des pleins d'essence et de GPL, les gaz d'échappement des véhicules et la fumée des cigarettes. Il se retrouve en quantité plus importante dans l'industrie des matières plastiques (caoutchoucs synthétiques, résines, peintures et revêtements, etc.).

L'exposition aiguë par inhalation massive de ce gaz peut provoquer des irritations respiratoires, oculaires et des signes neurologiques divers pouvant aller jusqu'au coma. Le contact cutané avec ce gaz peut entrainer des brulures par le froid. Une association entre le niveau d'exposition et le risque de mortalité par leucémie est décrite dans l'industrie du styrène-butadiène. Dans l'industrie du 1,3-butadiène monomère, une augmentation significative de la mortalité due aux cancers lymphatiques et hématopoïétiques (relatifs aux organes de formation des cellules du sang) a été rapportée.

1.4.1.5 - Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)

Les HAP se forment lors des combustions incomplètes et sont ainsi majoritairement émis par le chauffage (bois, charbon, fioul), par les combustions non maitrisées (déchet vert, barbecue), ainsi que par le trafic routier,

notamment les véhicules diesel et les véhicules à essence non catalysés. Ils peuvent se trouver sous forme gazeuse ou particulaire dans l'air ambiant.

Le **benzo(a)pyrène ($C_{20}H_{12}$)** est formé lors de combustion incomplète ou de la pyrolyse de matériaux organiques. Ainsi, il est présent dans les suies et fumées de toutes origines, dans les gaz d'échappement des moteurs à explosion, dans la fumée de cigarette, etc.

Le benzo(a)pyrène, considéré comme traceur de la pollution urbaine aux HAP, est reconnu comme cancérogène catégorie 1 pour l'homme. Par ailleurs, l'Union européenne l'a classé comme toxique pour la reproduction, catégorie 2 (fertilité et développement).

L'**acénaphtène ($C_{12}H_{10}$)** est un constituant du goudron (environ 0,3 %). Il est utilisé notamment dans la distillation du goudron, la fabrication des plastiques, comme intermédiaire dans la fabrication des teintures et se retrouve dans des insecticides ou des fongicides.

L'acénaphtène peut causer l'irritation de la peau et des yeux. L'ingestion répétée du produit par le rat a des effets hépatotoxiques.

L'**acénaphtylène ($C_{12}H_8$)** est un dérivé de l'acénaphtène. Il entre dans la composition du goudron et de certains plastiques. Il sert également à la fabrication de pigments et de colorants.

L'acénaphtylène est absorbé par les voies respiratoires. Il est irritant.

L'**anthracène ($C_{14}H_{10}$)** est utilisé comme intermédiaire dans la fabrication de matières colorantes et lors de l'élaboration de résines. Il intervient aussi comme diluant dans les insecticides et les fongicides, destinés à la protection du bois. On l'utilise également dans l'électrophotographie et la physique nucléaire. Présents naturellement dans les combustibles fossiles, il se retrouve dans les échappements des moteurs, la combustion du charbon, le raffinage du pétrole, l'asphalte des routes, la fumée du charbon de bois, etc.

L'anthracène est absorbé par inhalation, par ingestion et voie dermique. L'anthracène est un irritant de la peau, des yeux, des muqueuses et du tractus respiratoire.

Le **benzo(a)anthracène (C_8H_{12})** apparaît dans les échappements des moteurs diésel et essence, dans la combustion incomplète du charbon, du pétrole et du bois. Il est aussi présent dans l'asphalte des chaussées.

Le benzo(a)anthracène est suspecté être un cancérogène pour l'homme (groupe 2B – évaluation du Centre Internationale de Recherche sur le Cancer – CIRC).

Le **benzo(b)fluoranthène ($C_{20}H_{12}$)** est lors de la combustion incomplète d'hydrocarbures ou de charbon. Des concentrations élevées atteignant 10 g/kg peuvent être trouvées dans l'asphalte.

Le benzo(b)fluoranthène pourrait être cancérigène pour l'homme suivant le CIRC (classement dans le groupe 2B).

Le **benzo(k)fluoranthène ($C_{20}H_{12}$)** est produit, essentiellement sous forme particulaire, lors de la combustion incomplète d'hydrocarbures, d'huiles moteur ou de charbon. Il se retrouve dans la fumée de cigarettes.

Le benzo(k)fluoranthène pourrait être cancérigène pour l'homme suivant le CIRC (classement dans le groupe 2B).

Le **benzo(ghi)pérylène ($C_{22}H_{12}$)** est produit, principalement lors de la combustion de combustibles fossiles. Il peut être dispersé dans l'environnement lors de feux de forêts ou d'éruptions volcaniques.

En dépit d'accumulations de cette substance pouvant être constatées dans les organismes vivants, le benzo(ghi)pérylène ne semble pas avoir d'effets sur la santé humaine et animale.

Le **benzo(j)fluoranthène ($C_{20}H_{12}$)** est produit lors des combustions incomplètes des combustibles fossiles, du tabac et de la marijuana. On le retrouve dans les huiles usagées, la viande ou le poisson fumé et grillé au gaz.

Le benzo(j)fluoranthène est responsable de tumeurs cutanées, pulmonaires et hépatiques chez l'animal en fonction de la voie d'absorption utilisée. Il peut être cancérogène pour l'homme d'après le CIRC.

Le **chrysène ($C_{18}H_{12}$)** se forme lors de la distillation du charbon, de graisses ou d'huiles. Il est un des principaux HAP émis sous forme de particules par les incinérateurs d'ordures ménagères, des appareils ménagers à gaz naturel et des dispositifs de chauffage domestique au bois. C'est aussi un des produits de la combustion de la cigarette.

Le chrysène est reconnu pour ses effets mutagènes lors d'expositions principalement chroniques.

Le **dibenzo(a,h)anthracène ($C_{22}H_{14}$)** est présent dans les combustibles fossiles. Et se retrouve en particulier dans les échappements des moteurs diésel. Les émissions sont 25 fois plus importantes pour des véhicules munis de pots catalytiques (Hazardous Substances Data Bank – HSDB, 2001).

Le dibenzo(a,h)anthracène est absorbé par inhalation, par ingestion et voie cutanée et atteint principalement le foie, la peau et le système immunologique. Il pourrait être cancérigène pour l'homme et il est ainsi classé dans le groupe 2B par le CIRC.

Le **fluorène ($C_{13}H_{10}$)** est un intermédiaire chimique utilisé dans la fabrication de résines, de teintures et de certains médicaments antidiabétiques et antiarythmiques. Il est présent dans le goudron des revêtements routiers, les effluents de combustions incomplètes : fumée de cigarette, échappement automobile en particulier des moteurs diésel, incinérateurs d'ordures ménagères et raffineries de pétrole.

Le fluorène est absorbé par inhalation, par ingestion et voie cutanée et atteint principalement le foie et le sang.

Le **fluoranthène ($C_{16}H_{10}$)** est un des constituants des goudrons lourds issus du charbon. Il est obtenu, à des fins industrielles, par distillation à haute température d'huile d'anthracène. Il est également formé lors de la combustion incomplète du bois et du fioul. Il est utilisé en revêtement de protection pour l'intérieur des cuves et des tuyaux en acier servant au stockage et à la distribution d'eau potable. Il intervient aussi comme intermédiaire dans la fabrication de teintures notamment fluorescentes et comme stabilisant dans la fabrication de colles époxy. En pharmacie, il sert à synthétiser des agents antiviraux.

Le fluoranthène est absorbé par inhalation, par ingestion et voie cutanée et atteint principalement le foie et les reins.

L'**indéno(1,2,3-cd)pyrène ($C_{22}H_{12}$)** est présent naturellement dans les charbons bitumineux. On le retrouve aussi dans les feuilles de diverses espèces d'arbres, les feuilles de tabac, le terreau et le fumier de cheval ainsi que dans les algues. Il peut être dispersé dans l'environnement lors de feux de forêts ou d'éruptions volcaniques. Les principales sources sont cependant d'origine anthropique : combustion incomplète de bois, de charbon, de carburants utilisés dans les moteurs thermiques, les fours à bois, les incinérateurs d'ordures ménagères. Ce polluant est également présent dans les fumées industrielles, la fumée de cigarette et les aliments grillés au charbon de bois.

L'indéno(1,2,3-cd)pyrène est absorbé par inhalation, par ingestion et voie cutanée et pourrait être cancérigène pour l'homme (Groupe 2B – CIRC).

Le **phénanthrène ($C_{14}H_{10}$)** est essentiellement produit lors d'une mauvaise combustion des hydrocarbures, du bois ou du charbon (inserts, foyers fermés faiblement alimentés en air). Il est utilisé dans la production de colorants, d'explosifs et de produits pharmaceutiques. On en trouve aussi dans la fumée du tabac, les échappements des moteurs thermiques, les viandes grillées au charbon de bois et dans les huiles moteurs usagées.

Le phénanthrène est absorbé par inhalation, par ingestion et voie cutanée et touchent faiblement le foie et les intestins.

Le **pyrène ($C_{16}H_{10}$)** existe dans le goudron de charbon dans une proportion d'environ 2 %. Il est libéré dans l'atmosphère lors de la combustion incomplète de charbon et de produits pétroliers : huile, essence, fioul. Il

est également présent dans le goudron des revêtements routiers, dans la fumée de tabac et les effluents de combustion de déchets.

Le pyrène présente une atteinte rénale chez l'animal pour de l'exposition chronique.

1.4.1.6 - Les particules en suspension

Les particules constituent un mélange complexe de par la variété de leurs compositions chimiques et de leurs tailles. La surveillance réglementaire porte sur les particules PM10 (de diamètre inférieur à 10 µm) et PM2.5 (de diamètre inférieur à 2,5 µm).

Les sources de particules sont multiples. Elles sont émises par la combustion à des fins énergétiques de différents matériaux (bois, charbon, pétrole), le secteur résidentiel et tertiaire, le trafic routier, l'industrie (incinération, sidérurgie), l'agriculture, les chantiers et les carrières. Les particules PM2.5 sont majoritairement formées par les phénomènes de combustion (secteur résidentiel et tertiaire, trafic routier), tandis que les activités mécaniques (secteur agricole, chantier) favorisent la formation des particules de taille plus importante (PM10). Les sources indirectes de particules résultent essentiellement de la transformation chimique des polluants gazeux et des processus de remise en suspension des poussières déposées au sol.

Selon leur granulométrie (taille), les particules pénètrent plus ou moins profondément dans l'arbre pulmonaire. Les particules les plus fines peuvent, à des concentrations relativement basses, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. De plus, les particules fines peuvent véhiculer des substances toxiques. L'ensemble des particules fines, ainsi que la pollution de l'air extérieur, est classé comme cancérigènes certains (groupe 1) pour l'homme par l'OMS depuis 2016.

1.4.1.7 - Les métaux lourds

Les métaux lourds proviennent majoritairement de la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole), de la combustion des ordures ménagères, ainsi que de certains procédés industriels (métallurgie des métaux non ferreux notamment).

Dans le cadre des études air et santé des infrastructures de transport routier de niveau I, trois métaux sont retenus : le nickel, l'arsenic et le chrome.

Le **nickel (Ni)** est présent naturellement dans l'environnement. Dans l'industrie, il est principalement émis par la combustion du fioul lourd, qui contient des traces de ce métal, mais aussi par les aciéries électriques dans le but d'améliorer leurs propriétés mécaniques et leur résistance à la corrosion et à la chaleur. Il est également utilisé pour la préparation d'alliages non ferreux (pour la fabrication d'outils, d'ustensiles de cuisine et de ménage), dans les revêtements électrolytiques des métaux et comme catalyseur en chimie organique.

Le nickel, absorbé par voie respiratoire en exposition chronique, provoque un effet inflammatoire sur les muqueuses nasales et les bronches. Le nickel est considéré comme agent potentiellement cancérogène par le CIRC, en revanche les oxydes de nickel sont classés dans le groupe 1, c'est-à-dire reconnus cancérogènes pour l'homme par le CIRC et l'Union européenne. L'exposition aiguë est responsable de troubles digestifs et généraux assez limités, une détresse respiratoire est possible après inhalation. Il n'est pas irritant pour la peau. Le nickel est un sensibilisant cutané (eczéma) et respiratoire (rhinite, asthme), l'inhalation répétée provoque des bronchites chroniques. Le nickel provoque un risque accru de tumeurs de la cavité nasale et des poumons.

L'**arsenic (As**) provient de la combustion de combustibles minéraux solides et du fioul lourd contenants des traces de ce métal, ainsi que de l'utilisation de certaines matières premières utilisées dans la production de verre, de métaux non ferreux ou de la métallurgie des ferreux.

L'arsenic est essentiellement absorbé par voie digestive, mais aussi par voie respiratoire et à un moindre degré par voie cutanée. L'exposition aiguë par ingestion peut provoquer des atteintes digestives parfois graves, des atteintes neurologiques centrale et périphérique, cardiovasculaire, hépatique ou rénale pouvant aller jusqu'à la mort. Par inhalation, on observe une irritation respiratoire et conjonctivale. L'exposition cutanée peut être responsable d'atteintes neurologiques. Des irritations cutanées et de graves brûlures oculaires sont possibles lors de contacts cutanés ou muqueux. Une exposition répétée ou prolongée pourrait entrainer des signes

cutanés, muqueux, phanériens (cheveux, poils et ongles) et des atteintes neurologiques ou hématologiques L'augmentation du nombre de cancers du poumon et de la peau est décrite dans plusieurs études.

Le **chrome (Cr)** provient essentiellement des aciéries électriques et des fonderies de fonte ainsi que de certaines installations de production de verre. Près de la moitié des émissions de chrome en France provient des combustions réalisées dans l'industrie manufacturière, un quart des autres combustions (hors secteur de l'énergie).

Le chrome est principalement absorbé par les voies respiratoires. Il peut également être absorbé de façon négligeable par la peau et les voies digestives. Il existe trois formes de chrome : métal, trivalent et hexavalent. Seul le chrome hexavalent – chrome VI – est toxique, il entraine des inflammations des muqueuses et des ulcères et est cancérigène.

1.4.2 - Réglementation dans l'air ambiant

Les critères nationaux de la qualité de l'air sont définis dans les articles R221-1 à R221-3 du Code de l'Environnement. Les principales valeurs mentionnées dans la réglementation française sont synthétisées dans le Tableau 2.

Les définitions de ces valeurs seuils sont rappelées ci-après.

- **Valeur limite** : niveau maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement,
- **Objectif de qualité** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, à atteindre sur une période donnée dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement,
- **Valeur cible** : niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble,
- **Seuil d'information et de recommandation** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel des effets limités et transitoires sont constatés sur la santé de catégories de la population particulièrement sensibles en cas d'exposition de courte durée,
- **Seuil d'alerte** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement et à partir duquel des mesures d'urgence doivent être prises.

TABLEAU 2 – CRITÈRES NATIONAUX DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Polluants	Valeurs limites	Objectif de qualité ou valeur cible	Seuils d'information et d'alerte
Dioxyde d'azote NO_2	En moyenne annuelle 40 µg/m³ En moyenne horaire *depuis le 1er janvier 2010* 200 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 18 h par an (P99,8)	En moyenne annuelle 40 µg/m³	En moyenne horaire information et recommendation : 200 µg/m³ alerte : 400 µg/m³ sur 3 h consécutives et 200 µg/m³ si dépassement J-1 et risque pour J+1
Dioxyde de soufre SO_2	En moyenne journalière 125 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 3 j par an (P99,2) En moyenne horaire *depuis le 1er janvier 2005* 350 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 24 h par an (P99,7)	En moyenne annuelle 50 µg/m³	En moyenne horaire information et recommendation : 300 µg/m³ alerte : 500 µg/m³ sur 3 h consécutives
Benzène C_6H_6	En moyenne annuelle 5 µg/m³	En moyenne annuelle 2 µg/m³	
Monoxyde de carbone CO	En moyenne sur 8 heures 10 000 µg/m³		
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 µm PM_{10}	En moyenne annuelle *depuis le 1er janvier 2005* 40 µg/m³ En moyenne journalière *depuis le 1er janvier 2010* 50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 35 j par an (P90,4)	En moyenne annuelle 30 µg/m³	
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm $PM_{2,5}$	En moyenne annuelle 25 µg/m³ depuis 2015	En moyenne annuelle Objectif de qualité : 10 µg/m³ Valeur cible : 20 µg/m³	
Arsenic As		En moyenne annuelle Valeur cible : 6 ng/m³	
Nickel Ni		En moyenne annuelle Valeur cible : 20 ng/m³	
Benzo(a)pyrène		En moyenne annuelle Valeur cible : 1 ng/m³	
Ozone O_3		Objectif de qualité (santé) Max jour de la moyenne sur 8 h 120 µg/m³ Valeur cible (santé) Max jour de la moyenne sur 8 h à na pas dépasser plus de 25 j/an en moyenne sur 3 ans 120 µg/m³	En moyenne horaire information et recommendation : 180 µg/m³ alerte : seuil 1 - 240 µg/m³ sur 3 h consécutives seuil 2 - 300 µg/m³ sur 3 h consécutives seuil 3 - 360 µg/m³

Source : Articles R221-1à R221-3 du Code de l'Envoronnement

2 - CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE

La caractérisation de l'état de référence (ou état initial) a pour objectif de fournir une description détaillée de la qualité de l'air et de ses effets dans le domaine d'étude en l'absence de tout projet. Il se composera notamment :

- D'un **inventaire des sources de pollution** sur la base des recensements des principaux émetteurs industriels effectués par la DREAL ;
- D'un **bilan de la qualité de l'air** dans le domaine d'étude sur la base des études et mesures de l'AASQA locale, AtmoSud ;
- D'un **inventaire des établissements vulnérables** (établissements scolaires et de soins notamment) et des lieux vulnérables, ainsi que des populations ;
- De 1 **campagne de mesures in situ** de la qualité de l'air.

2.1 - Populations et lieux vulnérables

Le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du CEREMA précise qui sont les populations vulnérables :

- Jeunes enfants ;
- Personnes âgées ;
- Enfants ou adultes atteints de problèmes pulmonaires et/ou cardiaques chroniques.

Les établissements vulnérables sont alors mécaniquement réduits :

- Maternités ;
- Crèches, multi-accueil, micro-crèches…
- Écoles maternelles et élémentaires ;
- Accueil d'enfants handicapés ou en réinsertion ;
- Maisons de retraite (EHPA, EHPAD, Résidence autonomie…) ;
- Établissements de soins (hôpitaux, cliniques…).

Ce paragraphe a pour objet d'évaluer les cibles potentielles des émissions polluantes situées dans le domaine d'étude.

Les densités et les populations communales ont été estimées en 2016 sur la base des données de population INSEE les plus récentes disponibles

Les populations situées dans la bande d'étude ont ensuite été déterminées, sous SIG, en interceptant la bande d'étude et les communes avec une clef de répartition spatiale (données d'occupation des sols Open Street Map et orthophotos) afin de localiser les populations sur les zones bâties.

2.1.1 - Densité et population générale

Le projet est localisé sur la commune d'Aix-en-Provence, alternant les zones péri-urbaines et urbanisées.

Les densités de population des IRIS à proximité de l'emprise du projet sont données dans le Tableau 3 et sont représentées sur la Figure 2 pour l'horizon 2016.

Les populations des IRIS retenus sont données dans le Tableau 3.

Sur la base de ces estimations, la population en 2016 située dans l'emprise de la ZAC s'établit à 75 habitants. Le projet est localisé dans une zone peu densifiée avec moins de 1 000 hab/km² en 2016.

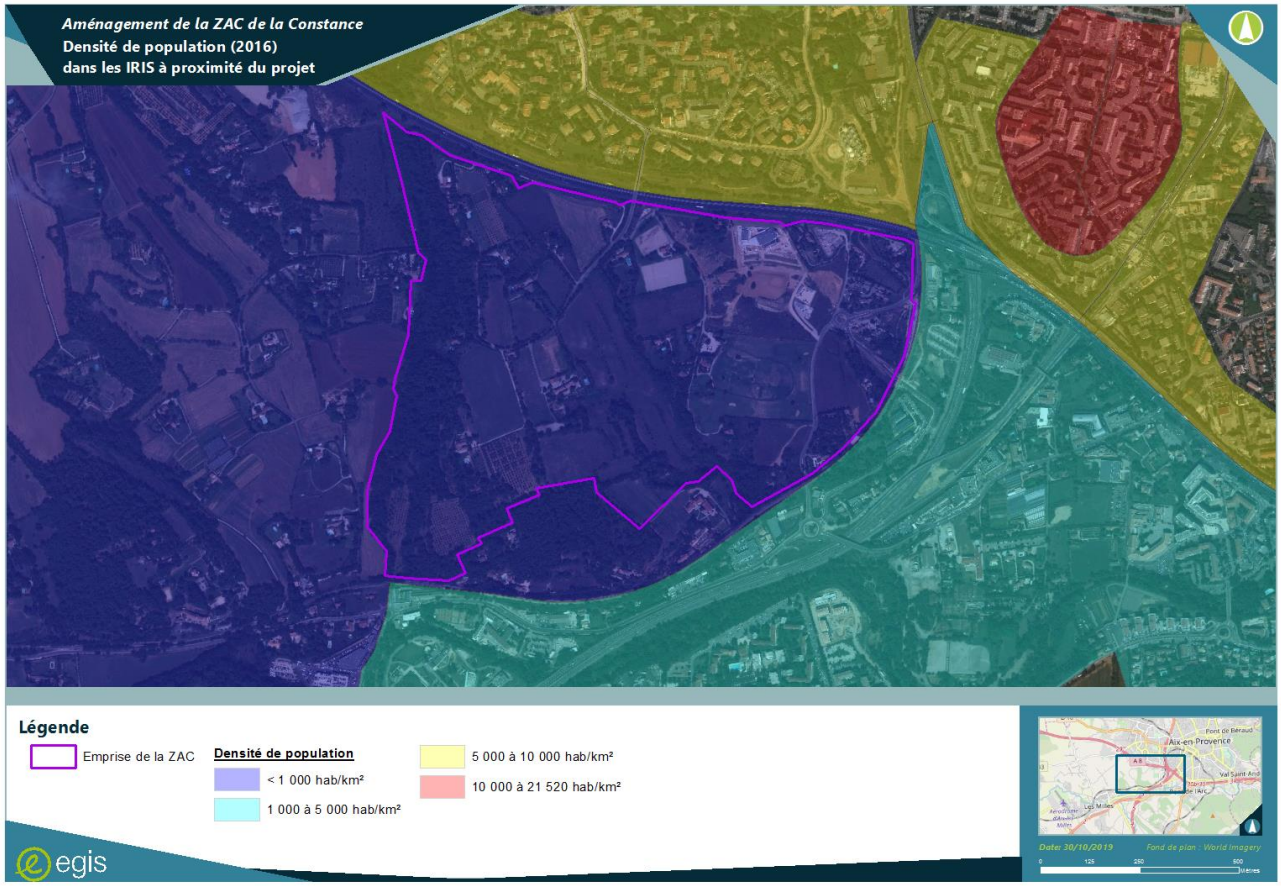
TABLEAU 3 – DENSITÉ DE POPULATION ET POPULATION DES IRIS À PROXIMITÉ DU PROJET

Commune	IRIS	Population de l'IRIS	Population dans le périmètre de la ZAC	Densité de l'IRIS (en hab/km²)
Aix-en-Provence	Arbois partie Est	3 556	75	356
	Beauvalle	2 098	0	7 792
	Encagnane 2	2 161	0	21 520
	Encagnane 3	2 170	0	18 344
	Encagnane 4	1 828	0	9 779
	Jas 1	2 765	0	6 261
	Jas 2	2 091	0	7 147
	Pont de l'Arc La Parade	4 339	0	1 675
SOMME Population et MOYENNE Densité COMMUNE		**21 008**	**75**	**9 109**

Source : INSEE

FIGURE 2 – DENSITÉ DES IRIS À L'HORIZON 2016

Source : Egis



2.1.2 - Établissements vulnérables

Un inventaire des établissements recevant des populations vulnérables (écoles, crèches, hôpitaux, maisons de retraite, *etc.*) a été effectué dans la zone d'étude et ces établissements vulnérables ont été représentés sur la Figure 3. Les populations fréquentant ces établissements sont soumises potentiellement à un risque par **inhalation**.

Sur la base de cet inventaire, 10 établissements vulnérables ont été identifiés à proximité de l'emprise du projet (cf. Tableau 4) :

- 1 crèche ;
- 7 écoles ;
- 2 maisons de retraite.

L'ancienne étude Air et Santé était basée sur la note méthodologique de 2005. Les sites sportifs étaient à prendre en compte et pour rester cohérent avec l'ancienne étude, les sites sportifs repérés restent répertoriés (cf. Tableau 5) :

- 2 terrains de sport ;
- 2 centres équestres ;
- 1 golf.

TABLEAU 4 – ETABLISSEMENTS VULNÉRABLES À PROXIMITÉ DE L'EMPRISE DU PROJET

Commune	Type d'établissement	Nom de l'établissement
Aix en Provence	Accueil des jeunes enfants	Crèche Pom d'Happy
	École	École maternelle des Floralies
		École maternelle Giono
		École élémentaire des Floralies
		École élémentaire Arène
		École élémentaire Giono
		École primaire Jules Payot
		École primaire privée La Nativité
	Maison de retraite	Résidence Léopold Cartoux
		Résidence de la Pinede
TOTAL DES ÉTABLISSEMENTS DANS LA ZONE D'ÉTUDE		**10**

Source : FINESS - Sites internet des communes - IGN

TABLEAU 5 – SITES SENSIBLES À PROXIMITÉ DE L'EMPRISE DU PROJET

Commune	Type de sites	Nom du site
Aix en Provence	Centre équestre	Centre équestre la Constance
		Club Hippique Aix Marseille & Ecuries Hubert Noël
	Golf	Aix Golf
	Stade	Stade Laurent Reynier
	Tennis	Terrains de tennis (5) Set Club
TOTAL DANS LA ZONE D'ETUDE		**5**

Source : FINESS - Sites internet des communes - IGN

FIGURE 3 – ÉTABLISSEMENTS VULNÉRABLES

Source : Egis

2.2 - Émissions polluantes

2.2.1 - Émissions polluantes de la métropole d'Aix-Marseille-Provence

Les données relatives aux émissions polluantes de la région PACA sont issues du site internet d'AtmoSud[3] et des inventaires Géolocalisés Air-cLimat-Energie (CIGALE)[4]. Les émissions de polluants, de GES et la consommation/production d'énergie sont données pour chaque secteur d'activité (agriculture, industrie, résidentiel/ tertiaire, transport et production d'énergie). Ainsi, sur chaque territoire (communal ou à l'échelle de l'EPCI), les sources responsables de la pollution sont identifiées. De plus, la tendance d'évolution de l'ensemble des paramètres peut être visualisée :

- Énergie ;
- Industrie / déchets ;
- Résidentiel ;
- Tertiaire ;
- Agriculture ;
- Transports routiers ;
- Autres transports ;
- Autres (ou « Non inclus »).

L'inventaire d'émission présente l'évolution des émissions sectorielles de 2007 à 2017 pour la métropole d'Aix-Marseille-Provence.

2.2.1.1 - Les oxydes d'azote (NO et NO_2)

Les oxydes d'azote (NOx) regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). Ils proviennent essentiellement de la combustion de produits énergétiques et de quelques procédés industriels. Les principaux émetteurs sont les installations de combustion et surtout les véhicules motorisés. D'autres sources, comme les feux de forêts, peuvent aussi contribuer aux émissions. Les NOx interviennent dans la formation des oxydants photochimiques et, par effet indirect, dans l'accroissement de l'effet de serre.

D'après l'application CIGALE, les émissions totales de la métropole d'Aix-Marseille-Provence en NOx s'élèvent en 2017 à 43 648 tonnes, soit 52,7 % des émissions régionales. Le principal secteur émetteur est :

- Le transport routier avec 70 % des émissions. Celles-ci proviennent principalement de la combustion dans les moteurs diesels (poids lourds diesel, utilitaires et véhicules particuliers).

Quatre secteurs se partagent la presque la totalité des émissions (94 %) :

- Le transport routier avec 29 % des émissions. Celles-ci proviennent principalement de la combustion dans les moteurs diesels (poids lourds diesel, utilitaires et véhicules particuliers).
- Autres transports pour 29 % des émissions ;
- L'industrie/déchets pour 22% des émissions ;
- L'énergie avec 14 %.

La Figure 4 illustre la répartition par secteurs d'activités des émissions d'oxydes d'azote en 2017.

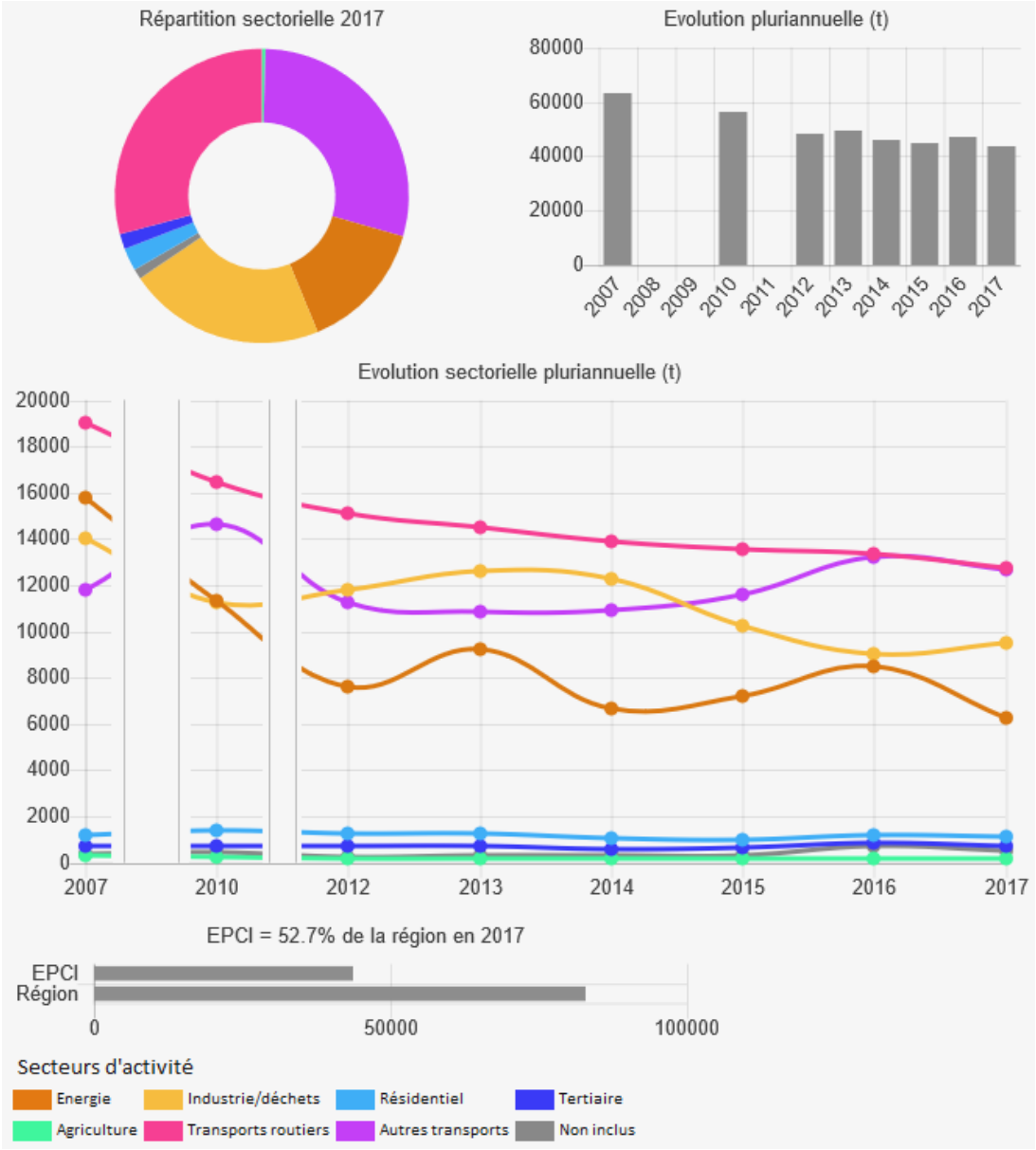
---

[3] AtmoSud – CIGALE : https://cigale.atmosud.org/

[4] L'application CIGALE est réalisée par AtmoSud, dans le cadre de ses missions au sein de l'Observatoire Régional de l'Energie, du Climat et de l'Air. Elle fournit, de la région à la commune, des données annuelles de consommations et de productions d'énergie, d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre.

FIGURE 4 – ÉMISSIONS D'OXYDES D'AZOTE EN 2017 DE LA MÉTROPOLE D'AIX-MARSEILLE-PROVENCE

Source : AtmoSud-CIGALE



Les émissions totales d'oxydes d'azote sont en baisse depuis 2007.

En 2017, la commune d'Aix-en-Provence a émis 7 334,3 kg/m² d'oxydes d'azote.

2.2.1.2 - Le dioxyde de soufre (SO_2)

Les émissions de dioxyde de soufre proviennent principalement de l'utilisation de combustibles fossiles soufrés :

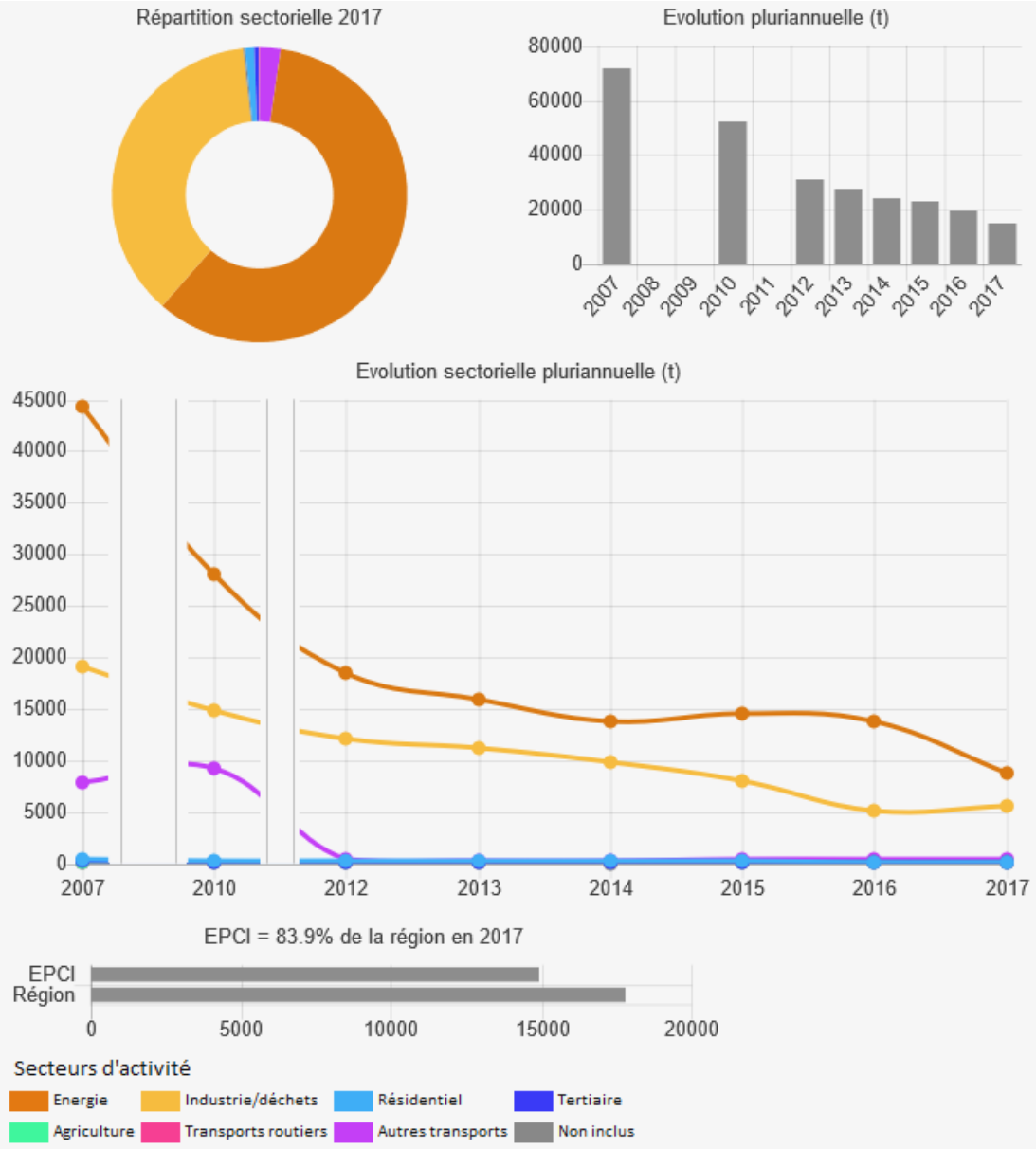
- Charbon ;
- Fuel lourd ;
- Fuel domestique ;
- Coke de pétrole ;
- Gazole.

D'après l'application CIGALE, les émissions totales de la métropole d'Aix-Marseille-Provence en SO_2 s'élèvent en 2017 à 14 928 tonnes, soit 83,9 % des émissions régionales. Les secteurs émetteurs presque exclusifs sont ceux de l'Industrie/déchets et de l'énergie avec 96 % des émissions.

La Figure 5 illustre la répartition par secteurs d'activités des émissions de dioxyde de soufre en 2017.

FIGURE 5 – ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE SOUFRE EN 2017 DE LA MÉTROPOLE D'AIX-MARSEILLE-PROVENCE

Source : AtmoSud-CIGALE



Les émissions totales de dioxyde de soufre sont en baisse depuis 2007.

En 2017, la commune d'Aix-en-Provence a émis 168,7 kg/m² de dioxyde de soufre.

2.2.1.3 - Les Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM)

Les COVNM regroupent de très nombreuses substances d'origine anthropique (évaporations des solvants, raffinage, imbrûlés…) ou d'origine naturelle. Les COVNM interviennent dans la formation des oxydants photochimiques (e.g. l'ozone) et indirectement dans l'accroissement de l'effet de serre.

D'après l'application CIGALE, les émissions totales de la métropole d'Aix-Marseille-Provence en COVNM s'élèvent en 2017 à 30 488 tonnes, soit 18,8 % des émissions régionales. Le secteur Non inclus est l'émetteur majoritaire avec 40 % des émissions.

Trois autres secteurs se partagent la presque la totalité des émissions restantes (54 %) :

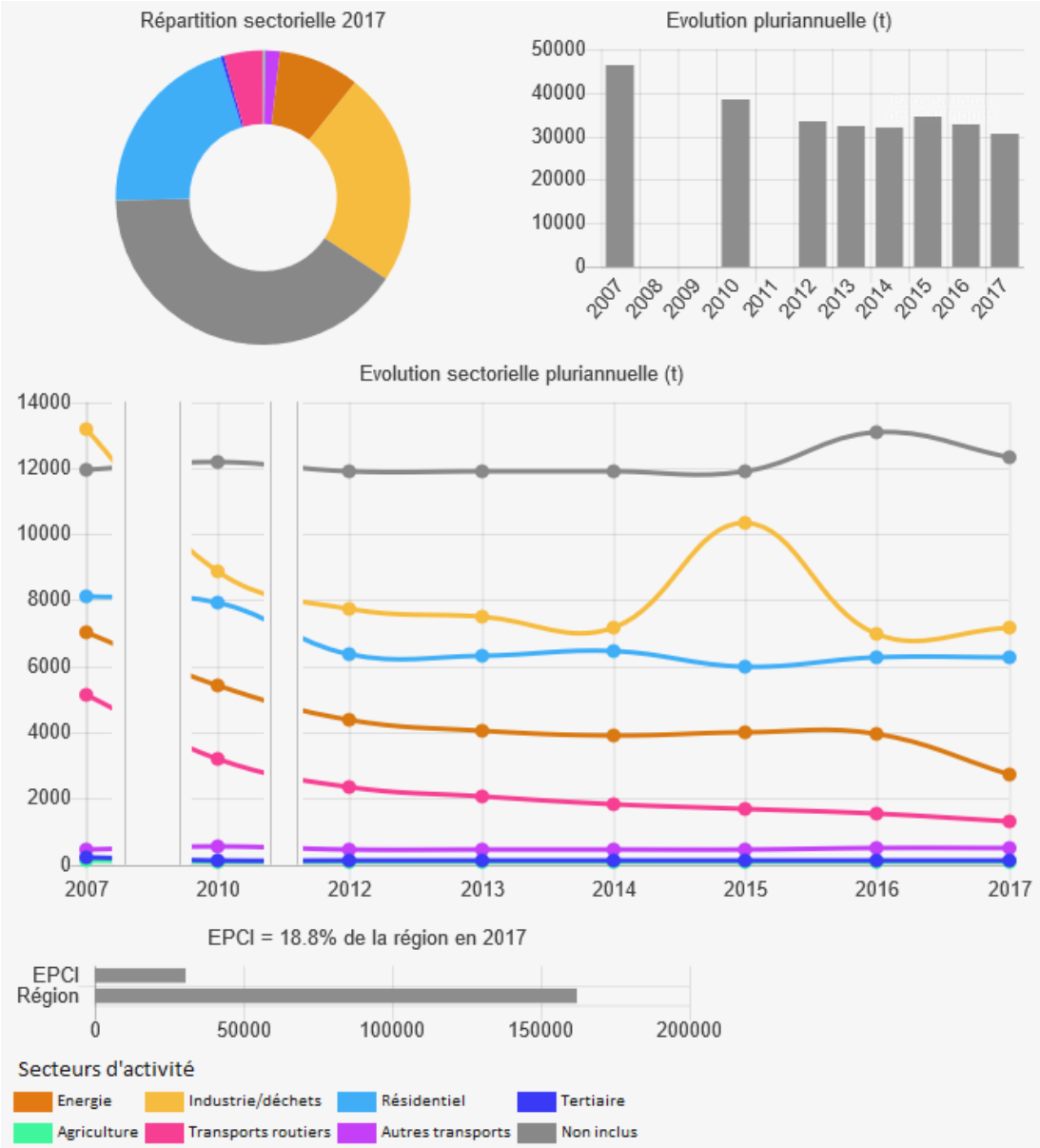
- Le résidentiel pour 21 % des émissions ;

- L'industrie/déchets pour 24 % des émissions ;
- L'énergie pour 9 % des émissions.

La Figure 6 illustre la répartition par secteurs d'activités des émissions de COVNM en 2017.

FIGURE 6 – ÉMISSIONS DE COVNM EN 2017 DE LA MÉTROPOLE D'AIX-MARSEILLE-PROVENCE

Source : ATMO Réunion - CITEPA



Les émissions totales de COVNM sont en baisse de 2007 à 2012 puis ont tendance à stagner jusqu'à 2017.

En 2017, la commune d'Aix-en-Provence a émis 6 874,6 kg/m² de COVNM.

2.2.1.4 - Le monoxyde de carbone (CO)

Ce polluant est issu de la mauvaise combustion des appareils de chauffage et du trafic automobile. On peut ainsi retrouver des quantités importantes d'émissions de monoxyde de carbone lorsqu'un moteur tourne au ralenti dans un endroit clos comme un garage ou lors d'un embouteillage dans un parking souterrain ou un tunnel, ainsi que lors du fonctionnement altéré d'un appareil de chauffage domestique.

D'après l'application CIGALE, les émissions totales de la métropole d'Aix-Marseille-Provence en CO s'élèvent en 2017 à 120 297 tonnes, soit 55,5 % des émissions régionales. Le secteur émetteur majoritaire est celui de l'industrie/déchets avec 62 % des émissions.

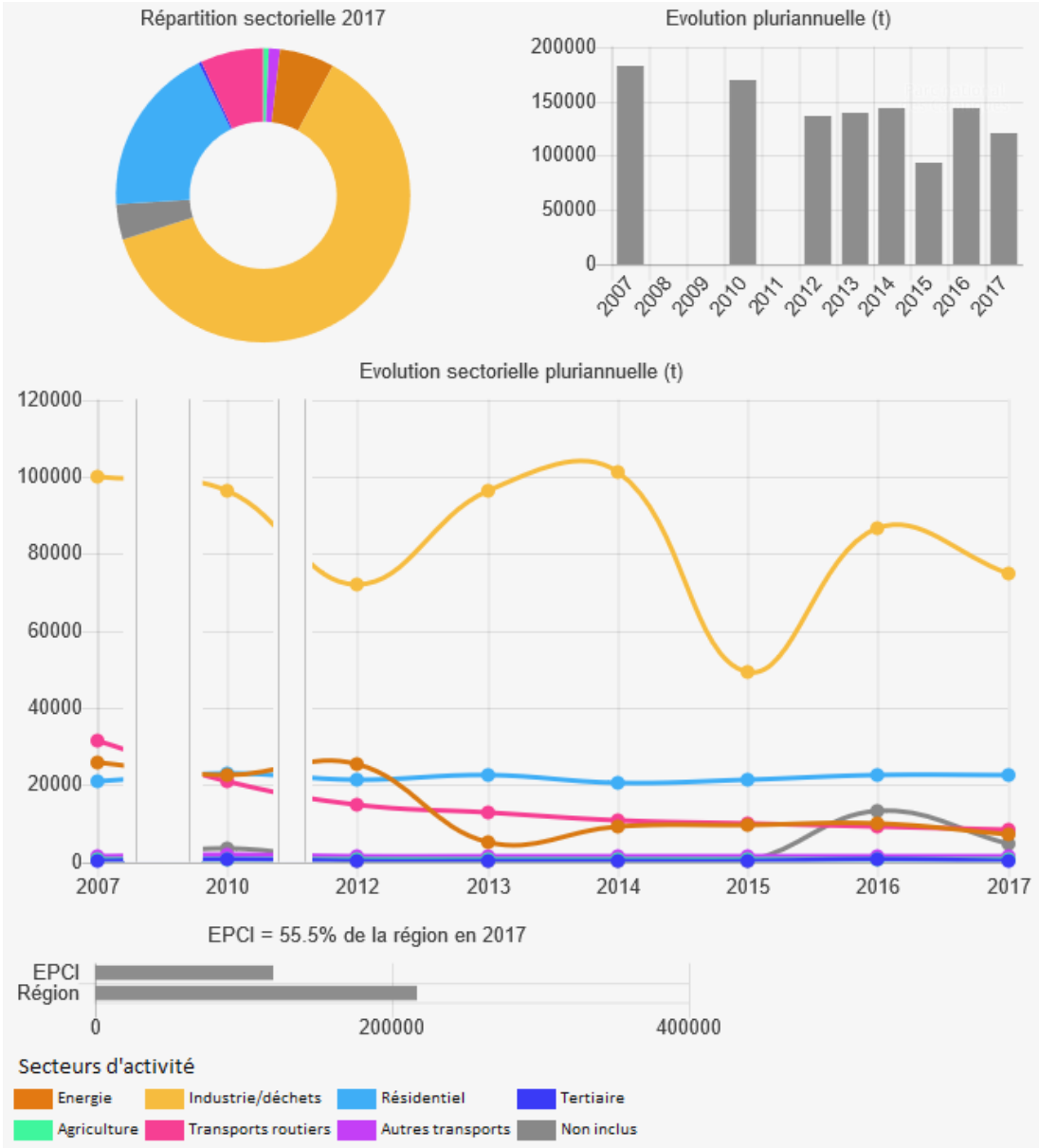
Trois autres secteurs se partagent la presque la totalité des émissions restantes (32 %) :

- Le transport routier pour 7 % des émissions ;
- Le résidentiel pour 19 % des émissions ;
- L'énergie pour 6 % des émissions.

La Figure 7 illustre la répartition par secteurs d'activités des émissions de CO en 2017.

FIGURE 7 – ÉMISSIONS DE MONOXYDE DE CARBONE EN 2017 DE LA MÉTROPOLE D'AIX-MARSEILLE-PROVENCE

Source : ATMO Réunion - CITEPA



Les émissions totales de CO sont en baisse de 2007 à 2012 puis ont des évolutions variables jusqu'à 2017.

En 2017, la commune d'Aix-en-Provence a émis 9 604,3 kg/m² de CO.

2.2.1.5 - Les Particules PM10 et PM2.5

Les particules en suspension sont soit d'origine naturelle (pollens, érosion…), soit d'origine anthropique (activités humaines). Dans ce dernier cas, elles proviennent de l'usure des matériaux ou de la combustion incomplète des combustibles fossiles. En air intérieur, ces particules proviennent essentiellement des activités humaines et notamment de la fumée du tabac.

D'après l'application CIGALE, les émissions totales de la métropole d'Aix-Marseille-Provence en PM10 s'élèvent en 2017 à 7 242 tonnes, soit 36,5 % des émissions régionales. Le secteur industrie/déchets est l'émetteur majoritaire avec 39 % des émissions.

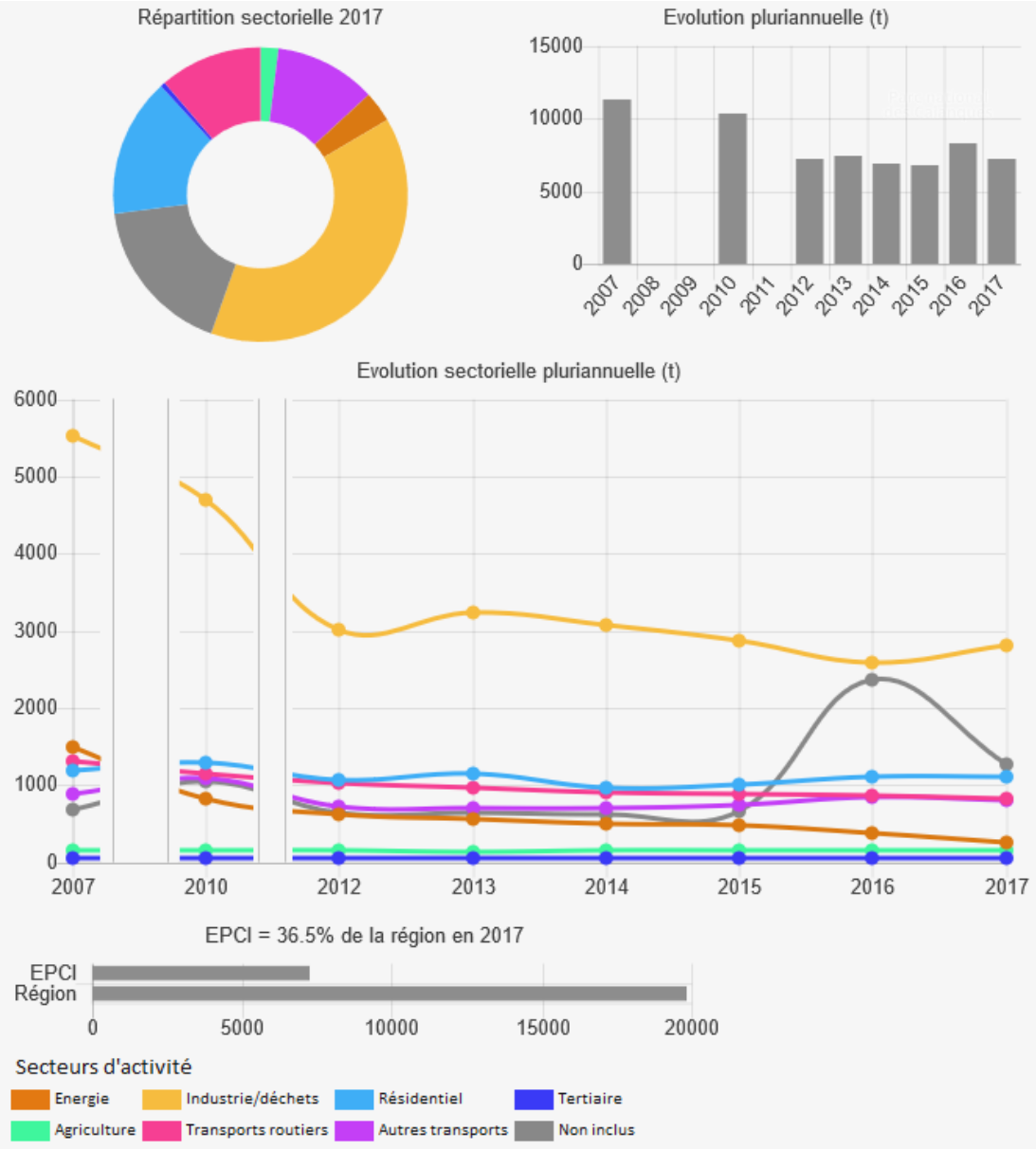
Quatre autres secteurs se partagent la presque la totalité des émissions restantes (49 %) :

- Le résidentiel pour 15 % des émissions ;
- Le secteur non inclue 17 % des émissions ;
- Autres transports pour 11 % des émissions ;
- Le transport routier avec 11 % des émissions.

La Figure 8 illustre la répartition par secteurs d'activités des émissions de PM10 en 2017.

FIGURE 8 – ÉMISSIONS DE PM10 EN 2017 DE LA MÉTROPOLE D'AIX-MARSEILLE-PROVENCE

Source : ATMO Réunion - CITEPA



Les émissions totales de PM10 sont en baisse de 2007 à 2012 puis ont tendance à stagner jusqu'à 2017, avec néanmoins un pic en 2016.

En 2017, la commune d'Aix-en-Provence a émis 1 510,9 kg/m² de PM10.

D'après l'application CIGALE, les émissions totales de la métropole d'Aix-Marseille-Provence en PM2.5 s'élèvent en 2017 à 5 270 tonnes, soit 34,9 % des émissions régionales. Le secteur industrie/déchets est l'émetteur majoritaire avec 31 % des émissions.

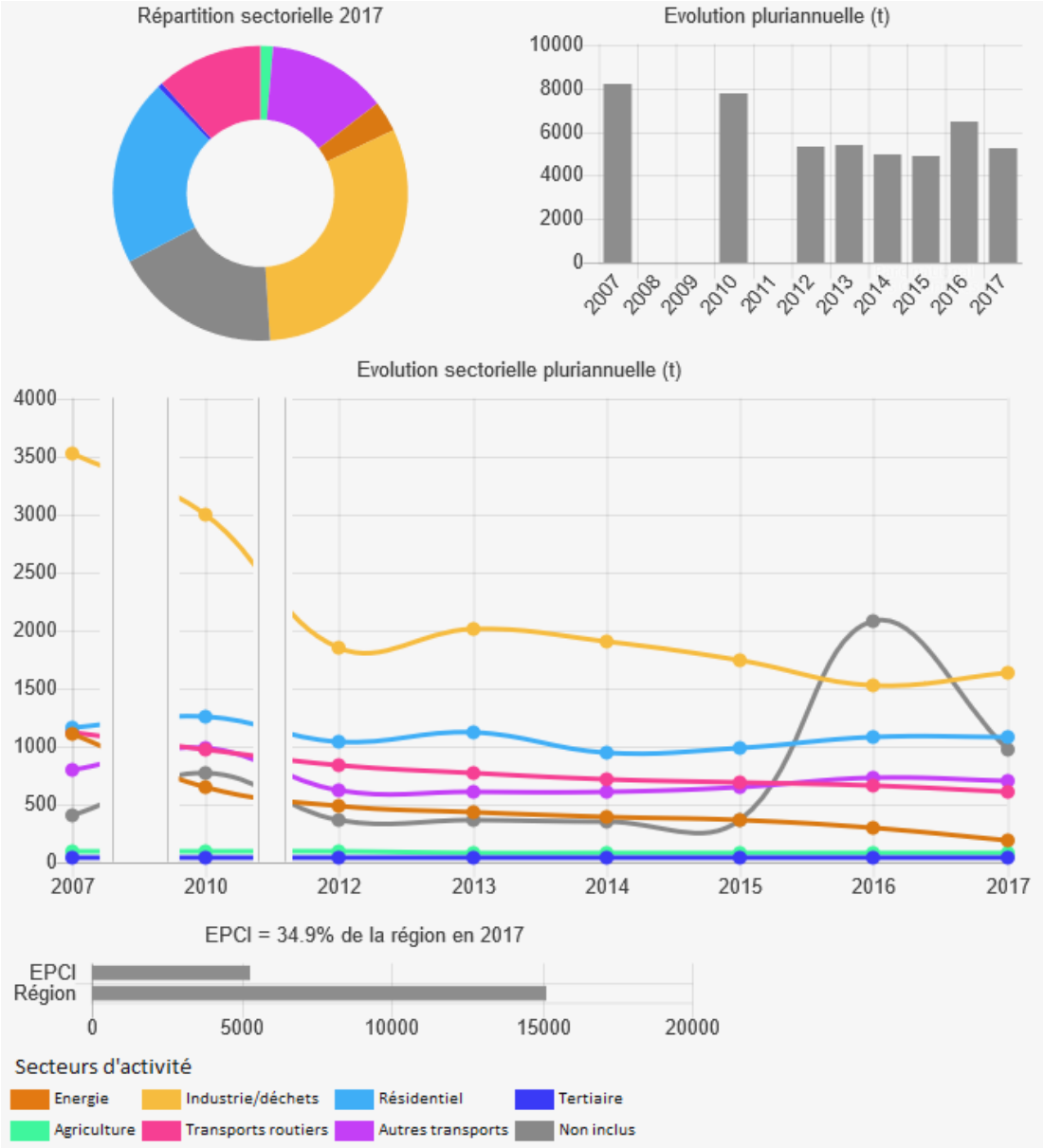
Quatre autres secteurs se partagent la presque la totalité des émissions restantes (64 %) :

- Le résidentiel pour 21 % des émissions ;
- Le secteur non inclue 18 % des émissions ;
- Autres transports pour 13 % des émissions ;
- Le transport routier avec 12 % des émissions.

La Figure 9 illustre la répartition par secteurs d'activités des émissions de PM2.5 en 2017.

FIGURE 9 – ÉMISSIONS DE PM2.5 EN 2017 DE LA MÉTROPOLE D'AIX-MARSEILLE-PROVENCE

Source : ATMO Réunion - CITEPA



Les émissions totales de PM2.5 sont en baisse de 2007 à 2012 puis ont tendance à stagner jusqu'à 2017, avec néanmoins un pic en 2016.

En 2017, la commune d'Aix-en-Provence a émis 1 080,5 kg/m² de PM2.5.

2.2.1.6 - Le benzène (C_6H_6)

Naturellement émis par les volcans et les feux de forêts, le benzène est émis dans les transformations des hydrocarbures (raffineries de pétrole, principalement). Ce polluant provient également de la combustion du carburant des véhicules à essence. La réglementation ayant imposé au 1er janvier 2000 la réduction du taux de benzène de 5 % à 1 % dans les carburants, les concentrations dans l'air ont ainsi été réduites en particulier à proximité des axes routiers les plus importants.

Les émissions de benzène de la métropole d'Aix-Marseille-Provence ne sont pas publiées par l'application CIGALE d'AtmoSud.

2.2.1.7 - Les métaux

Les émissions des métaux proviennent de la combustion imparfaite des combustibles fossiles et des ordures ménagères et aussi de certains procédés industriels.

Les émissions de métaux de la métropole d'Aix-Marseille-Provence ne sont pas publiées par l'application CIGALE d'AtmoSud.

2.2.1.8 - L'ozone (O_3)

L'ozone est un polluant secondaire car il n'est pas directement émis par une source mais produit par des réactions d'autres composés dans l'atmosphère. L'ozone nocif est l'ozone troposphérique formé principalement par photolyse du dioxyde d'azote par le rayonnement solaire.

Les émissions d'ozone de la métropole d'Aix-Marseille-Provence ne sont pas publiées par l'application CIGALE d'AtmoSud.

2.2.2 - Sources d'émissions industrielles dans la zone d'étude

Trois sources d'émissions industrielles, recensées au titre des émissions dans l'air, sont situées dans la commune d'Aix-en-Provence. Seule la chaufferie se situe à proximité de l'emprise du projet à environ 500 m à l'Est.

Au-delà de ces sources industrielles, les trafics routiers et le secteur résidentiel / tertiaire constituent les principales sources d'émissions de polluants atmosphériques dans la zone d'étude.

Les émissions de ces trois sites industriels sont détaillées dans le Tableau 6. Aucun de ces établissements n'émet de polluants recensés par la note technique du 22 février 2019.

TABLEAU 6 – ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES INDUSTRIELLES À AIX-EN-PROVENCE

Polluants		Chaufferie ZUP Encagnane *Production et distribution de vapeur et d'air conditionné*	ISDnD de l'Arbois *Administration publique générale*	EAST BALT Aix *Fabrication industrielle de pain et de pâtisserie fraîche*
CO_2 total (d'origine biomasse et non biomasse)	en t *année*	17 400 *2017*	21 900 *2017*	
CO_2 d'origine biomasse	en t *année*	17 400 *2017*	21 900 *2017*	
CO_2 d'origine non biomasse	en t *année*	12 000 *2012*		
Hydroflurocarbures (HFC)	en kg *année*			301 *2017*
Méthane (CH_4)	en t *année*		1 010 *2017*	

Source : Ministère de la transition écologique et solidaire - Géorisques

2.3 - Qualité de l'air

2.3.1 - Surveillance permanente

2.3.1.1 - Réseau de surveillance

La surveillance permanente de la qualité de l'air en Provence-Alpes-Côte d'azur est réalisée par l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA), AtmoSud. Cette association fait partie du dispositif national de surveillance et d'information de la qualité de l'air, composé de 19 AASQAs, conformément au code de l'environnement (Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie du 30 décembre 1996 codifiée) et à la loi Grenelle II qui a requis leur régionalisation.

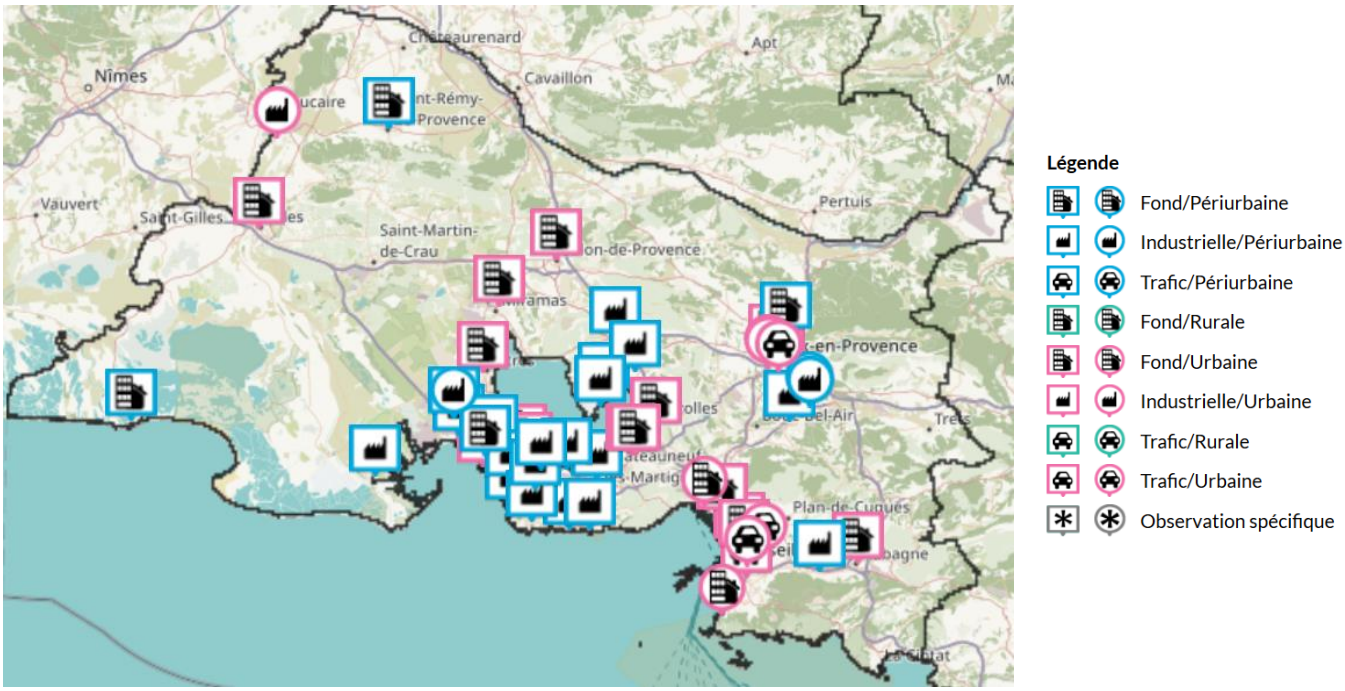
L'association AtmoSud compte 58 sites de mesures fixes et 11 stations mobiles :

- Alpes-de-Haute-Provence – 2 stations fixes de fond ;
- Hautes-Alpes – 1 station fixe trafic ;
- Alpes-Maritimes – 9 stations fixes de fond – 2 stations fixes industrielles – 2 stations fixes trafic – 3 sites de stations mobiles ;
- Bouches-du-Rhône – 17 stations fixes de fond – 20 stations fixes industrielles – 3 stations fixes trafic – 10 sites de stations mobiles ;
- Var – 9 stations fixes de fond – 1 station fixe trafic ;
- Vaucluse – 4 stations fixes de fond – 1 station fixe trafic.

Les stations des Bouches-du-Rhône sont représentées sur la Figure 10.

FIGURE 10 – RÉSEAU DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Source : AtmoSud – Bouches-du-Rhône



La qualité de l'air varie tout autant que les paysages rencontrés. En fonction de l'environnement, la population n'est pas exposée aux mêmes polluants, ni aux mêmes concentrations :

- Les zones urbanisées – Aix-Marseille, Nice, Toulon et Avignon sont les quatre unités urbaines principales de la région. Trois de ces villes font parties des dix plus grandes de France. La façade côtière est très urbanisée, près de 3 habitants sur 4 vivent à moins de 20 km de la mer. Les niveaux de

concentration des polluants sont assez élevés du fait des nombreuses sources d'émissions d'origine industrielle, résidentielle ou liée aux transports routiers rassemblées en un même territoire.

- Les transports – la région Provence-Alpes-Côte d'azur est un carrefour important du trafic de transit à travers la France, elle compte deux axes majeurs de transit, l'axe nord-sud et l'axe Espagne – France – Italie. La région possède également deux aéroports internationaux, l'Aéroport Marseille Provence à Marignane et l'aéroport Nice Côte d'Azur. Le trafic maritime est également important, en particulier pour les ports de Marseille, Nice et Toulon. Ces différents modes de transport sont fortement utilisés durant toute l'année du fait de l'attractivité touristique de la région (350 000 touristes en moyenne et plus de 800 000 au mois d'août). L'évolution technologique des carburants et des moteurs a permis de diminuer notablement les émissions routières de certains polluants (dioxyde de soufre, monoxyde de carbone, plomb et benzène) mais d'autres émissions persistent voire augmentent (dioxyde d'azote et particules).
- Les industries – de nombreuses et importantes sources de pollution industrielles sont localisées aux abords de l'étang de Berre et impactent l'ensemble des Bouches-du-Rhône et les départements limitrophes. Les substances rejetées dans l'air par les industries sont très nombreuses et seules quelques-unes sont des polluants réglementés dans l'air ambiant, même si d'autres sont potentiellement toxiques.
- Le milieu rural – il regroupe ce qui n'est pas urbain, trafic ou industriel, c'est-à-dire les zones boisées et agricoles, mais aussi les petites agglomérations et les grands espaces montagnards. Ce domaine est d'autant plus sensible aux émissions naturelles qu'il subit moins les émissions d'origine anthropiques hormis celles directement issus de l'agriculture. Les polluants rencontrés en quantité importante diffèrent, pour certains des trois précédents environnements de vie : COVNM (forêts de conifères), méthane, ammoniac et protoxyde d'azote (agriculture).

La région est fortement marquée par le Mistral (qui suit la vallée du Rhône). Vent du nord, froid, sec et violent, il permet de disperser rapidement les épisodes de pollution.

D'après le bilan d'activités 2017 d'AtmoSud, 4% de la population régionale a été exposée au dépassement des normes limites réglementaires et 47% au dépassement des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé. Les populations concernées résident en centre-ville, à proximité des grands axes routiers ou des sites industriels. Les multiples sources d'émissions (transport, industrie, résidentiel et tertiaire) conjuguées à un fort ensoleillement exposent la région à une pollution photochimique parmi les plus élevées d'Europe.

Au niveau régional, l'année 2017 a été marquée par :

- 35 jours de pollution aux particules fines,
- 16 jours de pollution à l'ozone.

Le département des Bouches-du-Rhône reste le plus touché par ces épisodes de pollution.

Le site AtmoSud répertorie des études de qualité de l'air spécifiques sur la commune d'Aix-en-Provence :

- Surveillance de la qualité de l'air autour de la chaufferie d'Encagnane du 1er février au 26 juin 2018[5] :

  L'objectif de cette campagne était de mieux connaitre l'influence de la chaufferie sur la qualité de l'air du secteur et d'évaluer l'exposition des populations dans cet environnement et sous les vents du panache de l'installation.

  Les résultats ont montré que la qualité de l'air de ces quartiers est principalement influencée par la circulation automobile avec notamment les autoroutes à proximité. La chaufferie a tout de même un impact sur la qualité de l'air selon le type de polluant étudié notamment le dioxyde d'azote.

- Campagne de mesure – état initial – autour de la ligne B du BHNS sur Aix du 1er mars 2016 au 31 décembre 2016[6]:

---

[5] *https://www.atmosud.org/fiche-etude/surveillance-de-la-qualite-de-lair-autour-de-la-chaufferie-dencagnane-aix*

[6] *https://www.atmosud.org/fiche-etude/campagne-de-mesure-etat-initial-autour-de-la-ligne-b-du-bhns-sur-aix-0*

L'objectif de cette étude a été d'évaluer l'impact environnemental du projet du Bus à Haut Niveau de Service (ligne B), à Aix-en-Provence. De plus, l'étude a permis de mieux connaitre l'impact environnemental lié à des infrastructures routières et de disposer des éléments nécessaires à la concertation et aux études d'insertion urbaine et de maîtrise d'œuvre.

Les résultats en air ambiant montrent que la valeur limite pour le dioxyde d'azote (40 µg/m^3/an) est dépassée sur les grands axes et les pénétrantes d'Aix. Dans l'environnement de ces voiries à fort trafic, les teneurs en dioxyde d'azote décroissent jusqu'à atteindre le niveau ambiant des quartiers.

En air intérieur, dans les salles des crèches échantillonnées, les concentrations de dioxyde d'azote sont légèrement inférieures, voire égales au seuil de la valeur guide en air intérieur (20 µg/m^3).

L'aménagement de la voirie du BHNS et sa mise en service auront une influence sur le trafic aixois. Ces reports de trafic pourront influer sur la qualité de l'air et être évalués ultérieurement notamment sur les grands boulevard et avenues, et sur l'air des quartiers.

- Scénarisation du réaménagement de la jonction A8/A51 du 1er janvier 2015 au 31 décembre 2015[7] :

L'évaluation de ces projets, a été réalisée par Air PACA, en partenariat avec la CPA (directions des Transports et de l'Environnement). Plusieurs scénarios en terme de qualité de l'air par rapport aux aménagements et échangeurs envisagés entre les autoroutes A51 et A8 ont été étudiés.

Les calculs réalisés ont montré que l'influence sur la pollution de la création de l'échangeur entre l'autoroute A51 Nord et l'autoroute A8 Ouest est relativement faible.

- P-AIR – Particle – Atmospheric Intelligent Research du 1er janvier 2013 au 31 décembre 2016[8] :

Le projet consistait à développer un analyseur de pollution particulaire déplaçable, peu couteux et venant en complément des stations fixes réglementaires de la qualité de l'air.

Le projet P-AIR développera plusieurs valeurs :

- L'outil P-AIR lui-même avec les capteurs, le réseau et la cartographie ;
- L'amélioration des connaissances sur les sources des particules ;
- Des applications web et smart phone (diffusion de l'information).

2.3.1.2 - Indice ATMO

L'indice de la qualité de l'air est destiné à qualifier globalement, chaque jour, la qualité de l'air d'une ville ou d'une agglomération. Il est dénommé Indice ATMO lorsqu'il concerne les agglomérations de plus de 100 000 habitants et qu'il répond à tous les critères de calcul définis par l'arrêté ministériel du 22 juillet 2004 entré en vigueur au 1er janvier 2005. L'indice ATMO est calculé pour les agglomération de l'Est des Bouches-du-Rhône.

Cet indice est calculé à partir des concentrations en polluants relevées sur les stations urbaines et périurbaines représentatives de zones de pollution homogène. Son calcul fait intervenir quatre polluants :

- Les particules fines de diamètre inférieur à 10 µm (PM10) ;
- Le dioxyde d'azote (NO_2) ;
- L'ozone (O_3) ;
- Le dioxyde de soufre (SO_2).

Comme tout indicateur, l'indice présente des limites. Il ne peut être représentatif de situations particulières et des pointes de pollution qui peuvent être rencontrées au voisinage immédiat de sources (trafic routier ou industrie).

La qualité de l'air a été bonne globalement 1 jour sur 2 à Aix-en-Provence en 2016. Quatre journées de mauvaise qualité de l'air ont été répertoriées à Aix-en-Provence (*cf.* Figure 11)

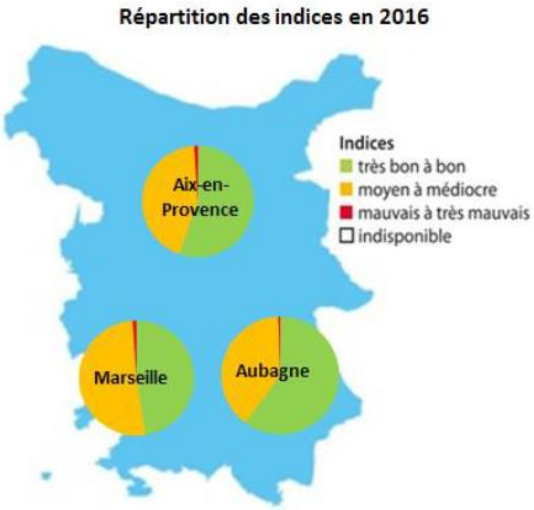
---

[7] *https://www.atmosud.org/fiche-etude/aix-en-provence-scenarisation-du-reamenagement-de-la-jonction-a8a51*

[8] *https://www.atmosud.org/fiche-etude/p-air-particle-atmospheric-intelligent-research*

FIGURE 11 – INDICE ATMO DE L'EST DES BOUCHES-DU-RHÔNE EN 2016

Source : AirPACA - Éléments de la qualité de l'air et spécificités sur la Métropole Aix-Marseille-Provence et ses Conseils de territoires – 14 septembre 2017



2.3.2 - Dans la zone d'étude

Trois stations de mesures permanentes sont installées sur la commune d'Aix-en-Provence, en dehors de la zone d'étude :

- 1 station de type urbain : Aix École d'Art située au centre-ville d'Aix-en-Provence (mesure des polluants suivants : O_3, NO_2, PM10, PM2.5) ;
- 1 station de type périurbain : Aix Les Platanes située en périphérie Nord d'Aix-en-Provence (mesures du polluant suivant : O_3) ;
- 1 station de type trafic : Aix Roy René située au centre-ville d'Aix-en-Provence (mesures des polluants suivants : PM10, NO_2).

Les teneurs moyennes annuelles 2018 (dernière année renseignée) des polluants mesurés par cette station, en dioxyde d'azote, PM10, de l'ozone et le benzo(a)pyrène (moyenne annuelle de 2011) sont synthétisées dans le Tableau 7 et comparées aux valeurs limites en moyennes annuelles. Le Tableau 8 présente les moyennes annuelles 2011 des HAP, sauf le benzo(a)pyrène. Parmi les HAP, seul le benzo(a)pyrène est réglementé.

Sur ces stations, les teneurs moyennes annuelles mesurées respectent les valeurs limites pour l'ensemble de ces polluants.

TABLEAU 7 – TENEURS MOYENNES ANNUELLES POUR LES STATIONS ATMOSUD RETENUES

Polluants		Aix Ecole d'Art	Aix Les Platanes	Aix Roy René	Valeurs limites	Objectif de qualité
		Urbain	Périurbain	Trafic	en moyenne annuelle	
Dioxyde d'azote (NO_2)	µg/m³	21,4		41,1	40	40
PM_{10}	µg/m³	20		27	40	30
$PM_{2,5}$	µg/m³	11,9			25	10
Benzo(a)pyrène	ng/m³	0,38 *(2011)*				1 *(valeur cible)*
Ozone	µg/m³		58,5			120 - maximum journalier de la moyenne sur 8 h *(seuil de protection de la santé)*

Source : ATMOSud

TABLEAU 8 – TENEURS MOYENNES ANNUELLES EN HAP (HORS BENZO(A)PYRÈNE) POUR LA STATION AIX ECOLE D'ART

Polluants		Aix Ecole d'Art
		Urbain
Benzo(e)pyrène	ng/m³	0,34 *2011*
Chrysène	ng/m³	0,48 *2011*
Benzo(b)fluoranthène	ng/m³	0,46 *2011*
Benzo(a)anthracène	ng/m³	0,33 *2011*
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	ng/m³	0,31 *2011*
Benzo(k)fluoranthène	ng/m³	0,21 *2011*
Benzo(ghi)préylène	ng/m³	0,4 *2011*
Dibenzo(ah)anthracène	ng/m³	0,04 *2011*
Benzo(j)fluoranthène	ng/m³	0,31 *2011*

Source : ATMOSud

FIGURE 12 – LOCALISATION DES STATIONS ATMOSUD ET DES STATIONS MÉTÉO FRANCE

Source : AtmoSud – Météo France

2.3.3 - Documents de planification pour l'air et la santé

La zone d'étude est soumise à des outils de planification au niveau régional et local concernant la qualité de l'air et la santé. Ces outils fixent des orientations et/ou des actions pour limiter et prévenir la pollution atmosphérique :

- Le Schéma Régional Climat, Air, Énergie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (SRCAE)[9] ;
- Le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) ;
- Le Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) ;
- Le Plan Climat Air Énergie Territorial d'Arles (PCAET) ;

Et la santé :

- Le Plan Régional Santé Environnement 3 de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PRSE3) ;
- Le Plan National Santé Environnement (PNSE 3).

2.3.3.1 - Le Schéma Régional Climat, Air, Énergie de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (SRCAE)

Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCE) a été créé par l'article 68 de la loi Grenelle 2. Il est régi par les articles L.222-1, 2 et 3 du code de l'environnement. Il remplace le Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA) instauré par la loi du 30 décembre 1996 (loi LAURE).

Élaboré sous l'égide du Préfet de Région et du Président du Conseil Régional, il fixe notamment, à l'échelon du territoire régional et aux horizons 2020 et 2050, les orientations permettant de prévenir ou de réduire la pollution atmosphérique ou d'en atténuer les effets afin d'atteindre les normes de qualité de l'air mentionnées à l'article R.221-1 du code de l'environnement.

Le conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur a approuvé le SRCAE le 28 juin 2013. Le Préfet de la région a arrêté le SRCAE le 17 juillet 2013.

Le SRCAE pose un certain nombre d'objectifs :

- Des objectifs sectoriels présentés dans le Tableau 9 ;
- Des objectifs de développement des énergies renouvelables ;
- Des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre présentés dans le Tableau 10;
- Des objectifs de réduction des émissions de polluants atmosphériques :
  - -30 % des émissions de PM2.5 pour 2015 (par rapport à l'année de référence 2007)
  - -40 % des émissions de NOx d'ici 2020 (par rapport à l'année de référence 2007)
- Des objectifs régionaux pour 2050 : -75 % d'émissions de gaz à effet de serre, -50 % de consommation totale d'énergie et 67 % de part de renouvelable dans la consommation finale d'énergie.

Le Tableau 9 présente les objectifs sectoriels du SRCAE Provence-Alpes-Côte d'Azur et le Tableau 10 les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

---

[9] Le SRCAE, crée par l'article 68 de la loi Grenelle 2, remplace le PRQA, instauré par la LAURE.

TABLEAU 9 – OBJECTIFS SECTORIELS DU SRCAE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Transports et urbanisme		➢ **Doublement** de la part modale des **transports en commun** d'ici 2030
		➢ Les modes actifs **(vélo, marche)** représentent **50% des déplacements dans les centres urbains** en 2030
		➢ L'augmentation de la population est principalement localisée dans les **pôles déjà urbanisés**
		➢ 8% de **véhicules électriques et hybrides** en 2030
		➢ **Doublement** des parts modales **fer et fluvial** pour le transport de marchandises
Bâtiments		➢ Rythme de **50 000 logements** totalement rénovés par an
		➢ Remplacement de **25% des systèmes de chauffage électrique et fioul** d'ici 2025
		➢ Réhabilitation de **3% des surfaces tertiaires** par an
Industrie		➢ Mobilisation de **50% du potentiel d'efficacité énergétique** estimé d'ici 2020 et 100% à 2030

TABLEAU 10 – OBJECTIFS DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU SRCAE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Emissions de GES	2020		2030	
	ktCO2eq	% du total	ktCO2	% du total
Maîtrise de la demande en énergie				
Industrie	2020	31%	3653	30%
Transport	1129	18%	2580	21%
Résidentiel	1413	22%	2143	18%
Tertiaire	466	7%	749	6%
TOTAL MDE	5028	78%	9125	76%
Emissions non énergétiques				
TOTAL GES non énergétiques	300	5%	600	5%
Energies renouvelables (développement additionnel)				
TOTAL ENR	1112	17%	2306	19%
TOTAL émissions de GES évitées (tCO2eq)	6439	100%	12031	100%
Objectifs de diminution des émissions de GES par rapport à 2007	-20%		-35%	

2.3.3.2 - Le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)

La directive européenne 2008/50/CE concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant prévoit que, dans les zones et agglomérations où les normes de concentration de polluants atmosphériques sont dépassées, les États membres doivent élaborer des plans ou des programmes permettant d'atteindre ces normes.

En droit français, des Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) doivent être élaborés dans toutes les agglomérations de plus de 250 000 habitants et dans les zones où les valeurs limites et les valeurs cibles sont dépassées ou risquent de l'être. L'application de ces dispositions relève des articles L.222-4 à L.222-7 et R.222-13 à R.222-36 du code de l'environnement.

Le PPA est un plan d'actions, arrêté par le préfet, qui a pour objectif de réduire les émissions de polluants atmosphériques et de maintenir ou ramener dans la zone du PPA concernée les concentrations en polluant à des niveaux inférieurs aux normes fixées à l'article R. 221-1 du code de l'environnement.

Le Préfet des Bouches-du-Rhône a signé le 17 mai 2013 l'arrêté préfectoral portant l'approbation du Plan de Protection de l'Atmosphère révisé.

Le PPA prévoit un ensemble de mesures à mettre en œuvre pour améliorer la qualité de l'air sur le territoire des Bouches-du-Rhône. Il compte 37 mesures multi-sectorielles (7 actions Industrie, 23 actions Transport, 5 actions Résidentiel/Tertiaire/Agriculture, 2 actions transversales).

- Les actions règlementaires (20) : Ces mesures constituent le cœur du PPA, elles ont vocation à être déclinées et précisées par des arrêtés préfectoraux ou municipaux une fois le PPA approuvé. Elles relèvent de la compétence des préfets ou des maires ;
- Les actions volontaires et incitatives (15) : Ces actions ont pour but, sur la base du volontariat, d'inciter les acteurs – qu'il s'agisse d'industriels, de collectivités ou de citoyens – à mettre en place des actions de réduction de leurs émissions de polluants atmosphériques ;
- Les actions d'accompagnement (2) : Ces mesures visent à sensibiliser et à informer la population, ou à améliorer les connaissances liées à la qualité de l'air sur la zone du PPA.

Ces actions visent à réduire l'exposition des populations pour les 5 polluants ou famille de polluants règlementés ciblés par le PPA à savoir le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azotes (NO_X), les particules en suspension (PM), l'ozone (O_3) et les Composés Organiques Volatiles (COV) dont le benzène. Néanmoins les objectifs de réduction des émissions chiffrés ne s'appliquent qu'aux 3 polluants prioritaires pour lesquels des dépassements réguliers de valeurs limites sont observés :

- Les oxydes d'azote – NO_X
- Les particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm – PM10
- Les particules en suspension de diamètre inférieur à 2.5 µm – PM2.5

Dans le Plan de Protection de l'Atmosphère, les objectifs de réduction des émissions ont été initialement fixés à l'horizon 2015 sur la base de l'année de référence 2007. Toutefois, les actions locales ayant commencé à être mise en œuvre en 2013, une mise à jour des objectifs de réduction des émissions à l'horizon 2020 a été réalisée par AtmoSud en 2015. Le Tableau 11 présente les objectifs de réduction attendus dans le cadre du scénario « tendanciel + PPA ».[10]

TABLEAU 11 – OBJECTIFS DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DU PPA DES BOUCHES DU-RHÔNE AUX HORIZONS 2015 ET 2020

Source : AtmoSud – Évaluation du Plan de Protection de l'Atmosphère des Bouches-du-Rhône 2013-2018

ZONE PPA13	Evolution 2007 –2015			Evolution 2007 – 2020		
Secteur	PM10	PM2.5	NO_x	PM10	PM2.5	NO_x
Industrie (tendanciel + PPA)	-6 %	-5 %	-7 %	-13 %	-11 %	-19 %
Transports (tendanciel + PPA)	-9 %	-13 %	-20 %	-13 %	-14 %	-27 %
Res/Ter/Agri (tendanciel + PPA)	-7 %	-9 %	-2 %	-13 %	-13 %	-1 %
Total gain (tendanciel + PPA)	**-22 %**	**-28 %**	**-29 %**	**-39 %**	**-39 %**	**-47 %**
Actions PPA seules	-9%	-9 %	-8 %	-	-	-
Objectifs Nationaux (Grenelle)	-30 %	-30 %	-40 %	-	-	-

2.3.3.3 - Le Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA)

Le PREPA[11] fixe la stratégie de l'État pour réduire les émissions de polluants atmosphériques au niveau national et respecter les exigences européennes. C'est l'un des outils de déclinaison de la politique climat-air-énergie. Il combine les différents outils de politique publique : réglementations sectorielles, mesures fiscales, incitatives, actions de sensibilisation et de mobilisation des acteurs, action d'amélioration des connaissances.

Tels que prévu par l'article 64 de la Loi relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), le PREPA est composé :

---

[10] *AtmoSud – Évaluation du Plan de Protection de l'Atmosphère des Bouches-du-Rhône 2013-2018*

[11] *Ministère de la Transition écologique et solidaire - https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/politiques-publiques-reduire-pollution-lair#e0*

- D'un décret fixant les objectifs chiffrés de réduction des émissions des principaux polluants à l'horizon 2020, 2025 et 2030 ;
- D'un arrêté établissant pour la période 2017-2021, les actions prioritaires retenues et les modalités opérationnelles pour y parvenir.

L'élaboration du plan s'appuie sur l'étude « aide à la décision pour l'élaboration du PREPA réalisée entre 2015 et 2016. Pour sélectionner les mesures sectorielles (industrie, résidentiel tertiaire, transports et agriculture) les plus pertinentes, une analyse multicritère a été réalisée.

Pour chaque mesure, l'évaluation a porté sur le potentiel de réduction d'émissions au niveau national, le potentiel d'amélioration de qualité de l'air, la faisabilité juridique, le niveau de controverse, le ratio coût-bénéfices et les co-bénéfices.

Les parties prenantes et les membres du Conseil national de l'air ont été consultés tout au long de la démarche d'élaboration. La consultation du public a été réalisée du 6 au 27 avril 2017.

Le PREPA prévoit la poursuite et l'amplification des mesures de la LTECV et des mesures supplémentaires de réduction des émissions dans tous les secteurs, ainsi que des mesures de contrôle et de soutien des actions mises en œuvre :

- Industrie ; application des meilleures techniques disponibles (cimenteries, raffineries, installations de combustion…) et renforcement des contrôles ;
- Transports : poursuite de la convergence essence-gazole, généralisation de l'indemnité kilométrique vélo, mise en œuvre des certificats Crit'Air, renouvellement des flottes par des véhicules à faibles émissions, contrôles des émissions réelles des véhicules, initiative avec les pays méditerranéens pour mettre en place une zone à basses émissions en Méditerranée ;
- Résidentiel-tertiaire : baisse de la teneur en soufre du fioul domestique, cofinancement avec les collectivités d'aides au renouvellement des équipements de chauffage peu performants, accompagnement des collectivités pour le développement d'alternatives au brûlage des déchets verts ;
- Agriculture : réduction des émissions d'ammoniac (utilisation d'engrais moins émissifs ; utilisation de pendillards ou enfouissement des effluents d'élevage…), développement de filières alternatives au brûlage des résidus agricoles, mesure des produits phytosanitaires dans l'air, contrôle de l'interdiction des épandages aériens, accompagnement du secteur agricole par la diffusion des bonnes pratiques, le financement de projets pilote et la mobilisation des financements européens.

Le PREPA prévoit également des actions d'amélioration des connaissances, de modélisation des acteurs locaux et des territoires, et la pérennisation des financements en faveur de la qualité de l'air.

Les objectifs du PREPA sont fixés à l'horizon 2020 et 2030 conformément à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance et à la directive 2016/2284.

FIGURE 13 – RÉDUCTION DES ÉMISSIONS PAR RAPPORT À 2005

Source : Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer – Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA)

RÉDUCTION DES ÉMISSIONS PAR RAPPORT À 2005

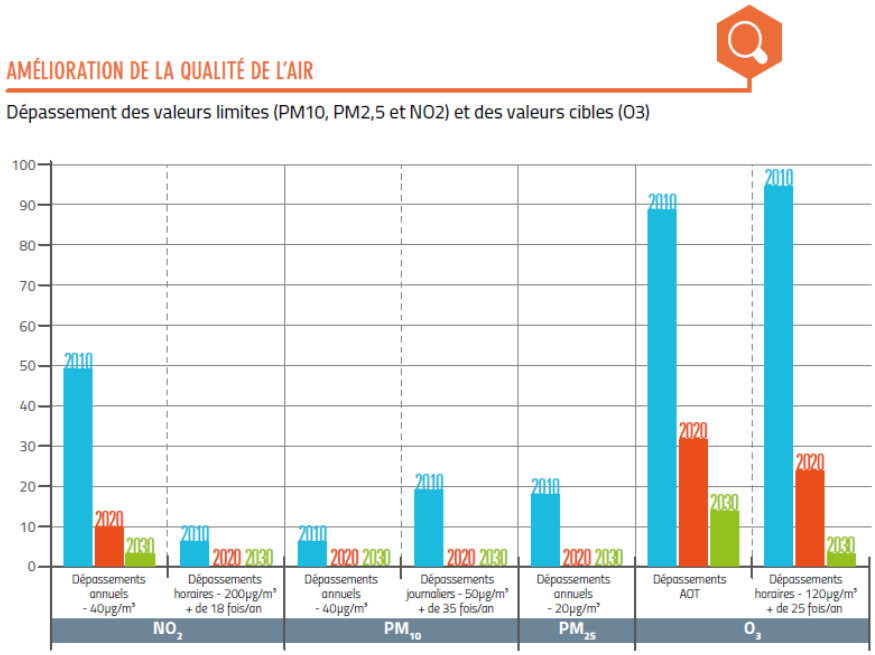
POLLUANT	À partir de 2020	À partir de 2030
Dioxyde de soufre (SO_2)	- 55 %	- 77 %
Oxydes d'azote (NOx)	- 50 %	- 69 %
Composés organiques volatils (COVNM)	- 43 %	- 52 %
Ammoniac (NH_3)	- 4 %	- 13 %
Particules fines ($PM_{2,5}$)	- 27 %	- 57 %

La mise en œuvre du PREPA permettra :

- De limiter très fortement les dépassements des valeurs limites dans l'air : ceux-ci sont réduits fortement dès 2020, et quasiment supprimés à l'horizon 2030. La concentration moyenne en particules fines baissera d'environ 20% d'ici 2030 ;
- D'atteindre les objectifs de réduction des émissions à 2020 et 2030. Les mesures du PREPA sont tout particulièrement indispensables pour atteindre les objectifs de réduction des émissions d'ammoniac ;
- De diminuer le nombre de décès prématurés liés à une exposition chronique aux particules fines d'environ 11 200 cas/an à l'horizon 2030.

FIGURE 14 – AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Source : Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer – Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA)



Le PREPA est un plan d'action interministériel, il est suivi par le Conseil national de l'air au moins une fois par an et sera révisé au moins tous les cinq ans.

2.3.3.4 - Le Plan Climat Énergie Territorial de la ville d'Aix-en-Provence (PCET)

Chaque collectivité territoriale de plus de 50 000 habitants doit réaliser un Plan Climat Énergie Territorial (PCET), soit un plan d'actions pour réduire ses émissions de GES préalablement diagnostiquées et s'adapter aux changements climatiques.

Le Plan Climat Énergie Territorial de la ville d'Aix-en-Provence a été présenté le 17 décembre 2012 et a été approuvé par les élus.

Ce plan répond aux dispositions obligatoires de la loi Grenelle 2 et traduit la volonté de la ville de participer aux objectifs nationaux à l'horizon 2020 :

- Réduire de 20% les émissions de gaz à effet de serre ;
- Améliorer de 20% l'efficacité énergétique ;
- Porter à 23% la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie.

Le PCET d'Aix-en-Provence proposent 15 actions prioritaires hiérarchisées sur la base de trois critères :

- L'impact énergie-GES de l'action sur la base d'une analyse qualitative et quantitative du gain en termes d'énergie et d'émission de GES de l'action ;
- Le coût estimé de l'action ;
- Le délai prévisionnel de mise en œuvre de l'action.

Parmi les 15 actions :

- 10 portent sur le volet « Patrimoine et services » :
  - Action 1 : Sensibiliser et former les agents de la collectivité aux pratiques éco responsables ;
  - Action 2 : Réaliser un suivi des consommations énergétiques des bâtiments de la ville, en intégrant une information des utilisateurs sur les résultats obtenus ;
  - Action 3 : Définir et mettre en œuvre un programme pluriannuel de rénovation thermique des bâtiments de la ville ;
  - Action 4 : Limiter le vieillissement du parc de véhicules et intégrer les motorisations alternatives ;
  - Action 5 : Élaborer et mettre en œuvre un « Plan de Déplacement Administration » en intégrant les « Plans de Déplacements Établissements Scolaires » ;
  - Action 6 : Développer l'e-administration et la dématérialisation en interne et pour les usagers ;
  - Actions 7 : Prendre en compte les critères environnementaux et « énergie-climat » dans l'établissement des documents contractuel ;
  - Action 8 : Élaborer et mettre en œuvre un « Plan de Prévention » des déchets produits par les services de la ville ;
  - Action 9 : Étudier les possibilités de valorisation énergétique du processus de digestion à la station d'épuration de la Pioline ;
  - Action 10 : Rechercher et mettre en œuvre les solutions permettant de limiter les consommations d'eau liées aux activités de la collectivité, sur les postes les plus consommateurs : nettoiement de la voirie et arrosage des espaces verts et sportifs.
- 5 ont un impact sur le territoire :
  - Action 11 : Mettre en place, dans le cadre du Plan Local d'Urbanisme et des opérations d'aménagement, des prescriptions contribuant à la sobriété énergétique et à la réduction des émissions de GES ;
  - Action 12 : Lutter contre les ilots de chaleur urbain et favoriser l'intégration du végétal en ville ;
  - Action 13 : Dans le cadre de la modernisation du réseau de chaleur et du passage au bois, augmenter le nombre de bâtiments connectés et favoriser leur réhabilitation ;

- Action 14 : Assurer un réel partage de la voirie en faveur des transports en commun et des modes actifs ;
- Action 15 : Développer les circuits courts en agriculture et favoriser l'extension des espaces dédiés aux jardins familiaux ou partagés.

2.3.3.5 - Le Plan National et le Plan Régional Santé Environnement (PNSE3 et PRSE3)

Ces deux plans s'inscrivent dans la continuité des documents de planification suscités et définissent des actions pour réduire et éviter l'impact sur la santé des pollutions environnementales.

Le Plan National Santé-Environnement (PNSE) est un plan qui, conformément à l'article L. 1311 du code de la santé publique, doit être renouvelé tous les cinq ans. Le deuxième Plan National Santé-Environnement a été adopté en conseil des Ministres le 24 juin 2009 pour la période 2009-2013. Sa mise en œuvre a été placée sous le copilotage des ministères en charge de la santé et de l'écologie et a fait l'objet d'une déclinaison en Plans Régionaux Santé-Environnement (PRSE).

Le 3ème Plan National Santé-Environnement (PNSE 3), dont les travaux d'élaboration ont été lancés en 2013, se décline en 4 grandes catégories d'enjeux :

- Enjeux de santé prioritaires ;
- Connaissance des expositions et de leurs effets ;
- Recherche en santé environnement ;
- Actions territoriales, information, communication et formation.

Le PRSE3 de la région PACA, adopté le 6 décembre 2017, est la déclinaison régionale du PNSE3, en 9 axes thématiques.

Certaines actions sont plus orientées sur :

- Action 1.1 : Réduire les émissions polluantes issues de l'industrie et des transports ;
- Action 1.2 : Mieux caractériser les émissions issues du secteur industriel et des transports ;
- Action 1.3 : Consolider les données sanitaires et environnementales disponibles ;
- Action 1.4 : Adapter la prise en charge des pathologies liées aux expositions professionnelles et environnementales.

2.3.4 - Mesures in situ de la qualité de l'air

Afin de caractériser plus précisément la qualité de l'air dans la zone d'étude, une campagne de mesures in situ de la qualité de l'air a été réalisée.

Cette campagne a un triple objectif :

- Caractériser la qualité de l'air de la zone d'étude ;
- Situer les différents polluants par rapport aux normes de qualité de l'air en vigueur, durant la période d'exposition des dispositifs de mesure ;
- Définir les valeurs de fond utilisées lors de la modélisation de la dispersion des polluants (*cf.* 3.2.2 - Évaluation des teneurs dans l'air ambiant) et dans l'Évaluation des Risques Sanitaires (*cf. 5* - Évaluation quantitative des risques sanitaires).

En accord avec la note technique du 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du CEREMA et compte tenu de la problématique routière les polluants suivants ont été retenus pour la campagne de mesures :

- Le dioxyde d'azote, polluant traceur des émissions liées au trafic routier ;
- Les particules PM10 et PM2.5 à l'origine de troubles respiratoires et pouvant présenter des propriétés mutagènes et cancérigènes

- Le benzène, polluant cancérigène ;
- Le 1,3-butadiène, irritant par voie respiratoire et reconnu cancérogène ;
- Le chrome (plus spécifiquement le chrome VI), polluant cancérigène ;
- Le nickel, à l'origine d'effets inflammatoires des muqueuses nasales et des bronches ;
- L'arsenic, à l'origine d'effets variant de l'irritant au létal en fonction des quantités absorbées et des modes d'absorption ;
- Les 16 HAP :
  - L'acénaphtène, irritant pour la peau et les yeux ;
  - L'acénaphtylène, irritant pour les voies respiratoires ;
  - L'anthracène, irritant pour la peau, les yeux, les muqueuses et le tractus respiratoire ;
  - Benzo(a)anthracène, suspecté être cancérogène ;
  - Benzo(a)pyrène, cancérogène pour l'homme et toxique pour la reproduction ;
  - Benzo(b)fluoranthène, suspecté être cancérigène ;
  - Benzo(k)fluoranthène, suspecté être cancérigène ;
  - Benzo(ghi)pérylène, pas d'effets avérés sur la santé humaine ;
  - Benzo(j)fluoranthène, responsable de tumeurs cutanées, pulmonaires et hépatiques chez l'animal et suspecté être cancérogène pour l'homme ;
  - Chrysène, effets mutagènes lors d'expositions principalement chroniques ;
  - Dibenzo(a,h)anthracène, suspecté être cancérigène ;
  - Fluorène, atteinte principalement du foie et du sang ;
  - Fluoranthène, atteinte principalement du foie et des reins ;
  - Indéno(1,2,3-cd)pyrène, suspecté être cancérigène ;
  - Phénanthrène, atteinte faible du foie et des intestins ;
  - Pyrène, atteinte rénale pour l'exposition chronique.

La mise en œuvre et les résultats de ces mesures sont présentés ci-après.

2.3.4.1 - Périodes et moyens de mesures

La campagne de mesures a duré 2 fois deux semaines, du 02/10/2019 au 31/10/2019, soit 29 jours ;

Cette période rend compte des trafics représentatifs du réseau routier dans la zone d'étude.

Les mesures ont été réalisées par échantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote, le benzène, le dioxyde de soufre et le monoxyde de carbone. Ces moyens de mesure, peu encombrants et relativement simples à mettre en place, permettent d'instrumenter simultanément un nombre important de sites.

Le principe de l'échantillonnage passif consiste à exposer à l'air libre, sur une période donnée, à environ 2-3 mètres de hauteur, des cartouches adsorbantes (triéthanolamine pour le dioxyde d'azote, le tétrachloroéthylène pour le benzène, le carbonate de potassium et la glycérine pour le dioxyde de soufre et le chlorure de palladium pour le monoxyde de carbone) qui, par simple diffusion du polluant dans l'atmosphère, vont piéger celui-ci (*cf.* Figure 15). La quantité de polluant absorbé est proportionnelle à sa concentration dans l'air ambiant.

FIGURE 15 – DISPOSITION DES CAPTEURS DE DIOXYDE D'AZOTE ET DE BENZÈNE DANS LE BOÎTIER

Source : Egis

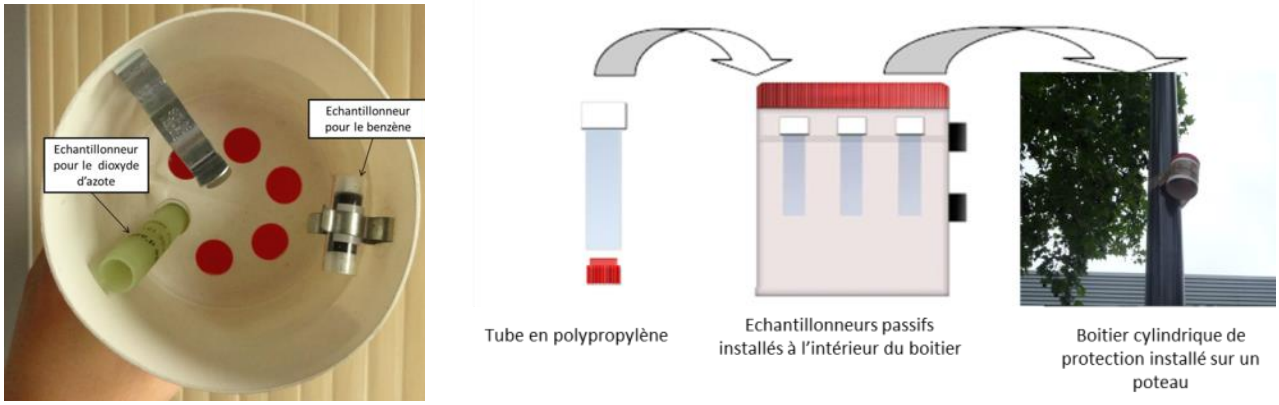


FIGURE 16 – CAPTEURS DE DIOXYDE DE SOUFRE ET DE MONOXYDE DE CARBONE ET DISPOSITION DANS LE BOÎTIER

Source : Passam ag

Sur chaque site de mesure, les échantillonneurs passifs ont ainsi été exposés au minimum 14 jours, puis rebouchés hermétiquement et analysés en laboratoire (colorimétrie pour le dioxyde d'azote, chromatographie en phase gazeuse pour le benzène, chromatographie ionique pour le dioxyde de soufre et réaction spécifique pour le palladium métallique formé par le CO et le chlorure de palladium).

Les analyses du dioxyde d'azote, du benzène, du dioxyde de soufre et du monoxyde de carbone sont réalisées suivant :

- La norme EN 13528 (Qualité de l'air - Échantillonneurs par diffusion pour la détermination des concentrations des gaz et des vapeurs) ;
- La norme EN-14662-5 : 2005 (Qualité de l'air ambiant. Méthode pour le mesurage des concentrations en benzène. Échantillonnage par diffusion suivi d'une désorption au solvant et d'une chromatographie en phase gazeuse) ;
- La méthode Saltzmann (colorimétrie après réaction avec l'acide sulfanilique et le dichlorate de N-(naphtyl-1) éthylenediamine)[12].

À l'issue des analyses, une teneur moyenne en polluants pour chaque site de mesure est établie pour la période d'exposition. Durant la période d'instrumentation, les capteurs ont été placés dans des boitiers afin de les préserver des intempéries (*cf.* Figure 15). Tous les capteurs ont été installés sur le site le premier jour et retirés le dernier jour afin d'harmoniser les temps d'exposition pour l'ensemble des capteurs.

---

[12] *La méthodologie Passam est reconnue par le Joint Research Centre de la Commission Européenne (JRC) dans le document Review of the Application of Diffusive Samplers for the Measurement of Nitrogen Dioxide in Ambient Air in the European Union de 2009. (http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC51106/reqno_jrc51106_eur_23793.pdf[1].pdf, page 71).*

Les échantillonneurs passifs ont été fournis et analysés par la société PASSAM AG, laboratoire de mesure accrédité EN 45000.

Suivant le laboratoire PASSAM AG qui réalise l'analyse des capteurs passifs à l'issue des campagnes de mesure *in situ*, l'incertitude des mesures par échantillonneurs passifs est :

- Pour le dioxyde d'azote : ±18,4 % pour un niveau de concentration dans l'air de 20 - 40 µg/m³ ;
- Pour le benzène : ±27,1 % pour un niveau de concentration dans l'air de 5 µg/m³ ;
- Pour le dioxyde de soufre : ±22,1 % pour un niveau de concentration dans l'air de 40 µg/m³ ;
- Pour le monoxyde de carbone : ±22,6 % pour un niveau de concentration dans l'air de 10 mg/m³.

Les limites de quantification pour l'analyse des polluants :

- Pour le dioxyde d'azote : < 0,6 µg/m³ ;
- Pour le benzène : < 0,4 µg/m³ ;
- Pour le dioxyde de soufre : < 0,4 µg/m³ ;
- Pour le monoxyde de carbone : 500 µg/m³.

La mesure du 1,3-butadiène a été réalisée par le mode de prélèvement passif radiello à corps diffusif jaune fourni par le Groupe Tera Environnement.

L'analyse des prélèvements passif radiello a été réalisée par Tera Environnement, par TD/GC-FID après prélèvement sur support code 141. La limite de quantification est 0,01 µg/m³.

Les mesures par échantillonneur passif ont pour résultats des valeurs moyennes sur la durée d'exposition des capteurs. Ces valeurs permettent ainsi de comparer et de hiérarchiser les sites de mesure instrumentés. Ces résultats peuvent être très différents des concentrations mesurées par analyseurs dynamiques, puisque ces derniers sont soumis aux variations temporelles.

Pour permettre de valider les mesures par échantillonneurs passifs, un capteur passif témoin sera installé au droit d'un analyseur fixe et/ou d'une station de l'AASQA locale. Le différentiel obtenu permettra aussi, le cas échéant de recaler l'ensemble de la campagne de mesure par capteurs passifs.

Les mesures des métaux, des particules PM10 et PM2.5 et des HAP ont été réalisées par analyseurs automatiques PARTISOL PLUS 2025[13], fourni par la société Ecomesure, suivant la norme prEN 15549 :

- L'échantillonneur doit être équivalent au standard PM-10 EN 12341 ;
- La durée d'échantillonnage est limitée à 24 heures par filtres ;
- Des échantillons individuels prélevés sur 24h peuvent être combinés et analysés simultanément pour obtenir une valeur moyenne (sous certaines conditions indiquées plus loin) ;
- Les échantillons doivent être stockés à une température inférieure à 20°C après échantillonnage ;
- Minimisation des artefacts et notamment de la dégradation par l'ozone.

Le PARTISOL PLUS 2025 est équipé de 14 filtres, fournis par Tera Environnement, afin de réaliser des campagnes de mesure d'environ 2 semaines.

À l'issue de la campagne de mesure, les échantillonneurs sont analysés par Tera Environnement :

- Les particules PM10 et PM2.5 sont analysées par gravimétrie avec pesée sur filtres quartz (calcinés pour les PM10 et classiques pour les PM2.5). La limite de quantification est de 4 µg/m³ ;
- Les métaux sont analysés sur demi-filtres de PM10 par ICPMS après prélèvement sur demi-filtre quartz 47 mm. Les limites de quantification sont :

---

[13] *EcoMesure – Préleveur séquentiel de poussières en suspension – PARTISOL PLUS 2025i BaP*

- 0.2 ng/m^3 pour l'arsenic ;
- 5 ng/m^3 pour le chrome ;
- 0,4 ng/m^3 pour le nickel.

- Les HAP sont analysés sur les autres demi-filtres de PM10 par extraction ASE + CH_2Cl_2 – HPLC après prélèvement sur demi-filtre en fibre de quartz calciné 47 mm. Les limites de quantifications sont de 0,1 à 0,3 ng/m^3 et 0,6 ng/m^3 pour l'acénaphtylène.

FIGURE 17 – PARTISOL PLUS 2025I BAP

Source : EcoMesure

2.3.4.2 - Choix et répartition des sites

Au total, afin de caractériser la qualité de l'air, **12 sites** ont été instrumentés de capteurs passifs :

- 12 capteurs pour la mesure du dioxyde d'azote ;
- 11 capteurs pour la mesure du benzène ;
- 11 capteurs pour la mesure du dioxyde de soufre ;
- 11 capteurs pour la mesure du monoxyde de carbone ;
- 11 capteurs pour la mesure du 1,3-butadiène.

Afin de mesurer les teneurs en particules, métaux et HAP, 1 site a été instrumenté de partisol. Les particules PM10 et PM2.5 sont mesurées chaque jour à partir de filtres modifiés quotidiennement, donc 28 filtres par partisol pour 4 semaines de mesure. Les PM10 et PM2.5 ne peuvent pas être mesurés en même temps donc une moitié des filtres est réservée au PM10 et l'autre aux PM2.5, soit 14 filtres par polluants sur chaque partisol. Ainsi, les PM10 sont mesurées les 14 premiers jours et les PM2.5 les 14 jours suivants. Il est donc possible que les résultats entre les PM10 et PM2.5 ne soient pas cohérents avec par exemple des teneurs en PM2.5 supérieures aux teneurs en PM10.

Les HAP et les métaux sont analysés à partir des filtres PM10. Chaque filtre est coupé en deux pour avoir une partie réservée aux métaux et l'autre aux HAP, donc 14 demi filtres HAP et 14 demi filtres métaux par partisol. De plus, les HAP et les métaux sont analysés en laboratoire par *pool* de 7 demi filtres chacun, donc en tout 6 *pools* sont analysés. En sortie, les résultats est une moyenne sur les 7 demi filtres.

Ces capteurs ont été localisés :

- À proximité des principaux axes routiers pour lesquels le projet de liaison est susceptible d'entraîner une modification du trafic : 5 sites représentatifs de la qualité de l'air en situation de proximité routière (sites 02, 03, 07, 09 et 11) ;
- En situation de fond, à distance de toute source directe de pollution : 7 sites représentatifs des niveaux moyens de pollution (sites 01, 04, 05, 06, 08, 10 et 12). Le site 12 correspond à un fond urbain.

Les critères de localisation de chacun des sites de mesure est décrit dans le Tableau 12 et les sites de mesure localisés dans le plan d'échantillonnage de la Figure 19.

Pour chaque site de mesure, une fiche de terrain a été réalisée. Cette fiche contient toutes les informations relatives à la traçabilité de la mesure : photographie numérique du site (*cf.* Figure 18), implantation sur un extrait de plan au 1/25 000ème et une orthophotographie, résultats de la mesure. Les 12 fiches de terrain sont présentées en annexe 10.1 - Fiches de mesure.

FIGURE 18 – PHOTOGRAPHIES DES SITES DE MESURES 09 ET 06

Source : Egis

Site 09 – Proximité routière

Site 06 – Fond rural

TABLEAU 12 – CRITÈRES DE LOCALISATION DES SITES DE MESURES EGIS

Nom du site	Ambiance	Intérêt	Polluants mesurés
Pt 01	Fond rural	Stade Reynier	Particules, HAP, métaux, NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 02	Proximité routière	Proximité A8 et habitations	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 03	Proximité routière	Proximité A8 et A51 et futurs bureaux	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 04	Fond rural	Proximité futur groupe scolaire	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 05	Fond rural	Fond	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 06	Fond rural	Proximité habitations et fond	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 07	Proximité routière	Chemin de Valcros	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 08	Fond rural	Proximité habitations	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 09	Proximité routière	Proximité A51	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 10	Fond rural	Proximité Golf	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 11	Proximité routière	Chemin des Aubépines	NO_2, BTX, CO, SO_2, 1,3-butadiène
Pt 12	Fond urbain	Doublons avec station Atmo SUD Aix Ecole Art	NO_2

Source : Egis

FIGURE 19 – PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Source : Egis

2.3.4.3 - Conditions météorologiques

L'analyse des conditions météorologiques observées lors d'une campagne de mesure permet de mieux apprécier l'influence de celles-ci sur les teneurs mesurées.

La qualité de l'air dépend effectivement à la fois des émissions des différentes sources (industries, transports, tertiaire) et des conditions météorologiques (vitesse et direction du vent…) qui, avec la topographie, influencent le transport, la transformation et la dispersion des polluants.

Les normales et les conditions météorologiques (vitesses et directions du vent, températures et pluviométries) relevées lors des campagnes de mesure sur la station Météo France de Marseille Marignane sont présentées ci-après. Cette station météorologique, située à environ 15 km au sud-ouest, est la station la plus proche de l'emprise du projet mesurant tous les paramètres météo pouvant influer sur la dispersion des polluants. La station d'Aix en Provence est plus proche mais ne mesure pas la nébulosité qui est un phénomène important dans la dispersion des polluants.

L'étude air et santé de 2013 et l'actualisation de 2018 se sont basées sur les données 2006 de la station Météo France Aix les Milles. Cette station mesurait tous les paramètres météorologiques et était située à moins de 5 km de la zone du projet. Cette station n'est plus fonctionnelle mais les données de 2006 étant représentatives des normales, elles seront utilisées pour les modélisations.

L'analyse des conditions météorologiques normales peut permettre d'anticiper les potentialités de dispersion ou de stagnation des polluants atmosphériques.

Le Tableau 13 et la Figure 20 présentent la comparaison des températures, et des vents (vitesse et direction) enregistrées pendant les campagnes de mesure aux normales saisonnières de la station Météo France de *Marseille Marignane – Aéroport*.

Les températures relevées lors des mesures sont légèrement supérieures aux températures normales saisonnières sur la campagne. Les précipitations sont très importantes comparées aux normales saisonnières sur la campagne, donc favorables à une diminution des concentrations atmosphériques des polluants. C'est notamment durant la 2ème période de mesure du 16 au 31 octobre que les précipitations ont été très élevées avec plus de 30 cm de pluie.

D'après la Figure 20, les vents lors de la campagne étaient principalement de secteur Ouest à Nord-Ouest et Est à Sud-Est, en accord avec les normales sur 20 ans. Les vents de la première période de mesure sont principalement de secteurs Nord-Ouest alors que pour la deuxième périodes les vents sont de secteurs Est à Sud-Est.

Les vents défavorables à la dispersion dans l'atmosphère sont les vents les plus faibles. Ils sont globalement de secteur Est à Sud-Est lors de la campagne. Des vents plus forts sont également observés dans le secteur Est à Sud-Est et également de l'Ouest au Nord-Ouest. Les vitesses de vent étaient élevées lors de la campagne, donc favorables à la dispersion des polluants. Les vents lors des 2 premières semaines ont été plus rapides que lors des 2 suivantes, donc la première période de mesure a été plus favorable à la dispersion des polluants.

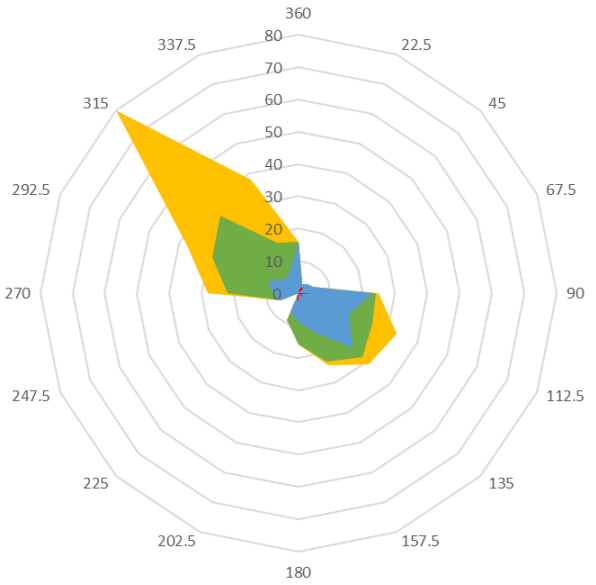
TABLEAU 13 – TEMPÉRATURES ET PRÉCIPITATIONS RELEVÉES À LA STATION DE MARSEILLE MARIGNANE - AÉROPORT

Paramètres		Campagne de mesure			Normales sur 30 ans
		du 2 au 16 octobre	du 16 au 31 octobre	Moyenne	Mois d'octobre
Températures en °C	Minimale	7.8	9.2	7.8	11.6
	Maximale	27.1	24.8	27.1	20.3
	Moyenne	18.0	17.9	18.0	16.0
Précipitations en mm		68.4	329.2	397.6	85.4

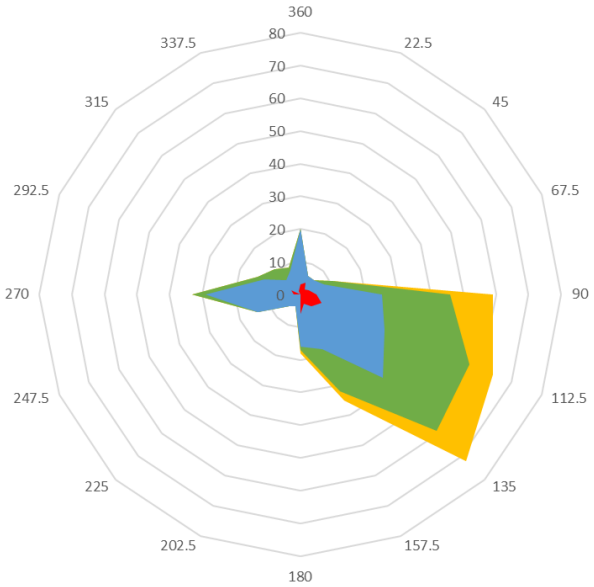
Source : Météo France

FIGURE 20 – ROSES DES VENTS SUR LA STATION MARSEILLE MARIGNANE - AÉROPORT

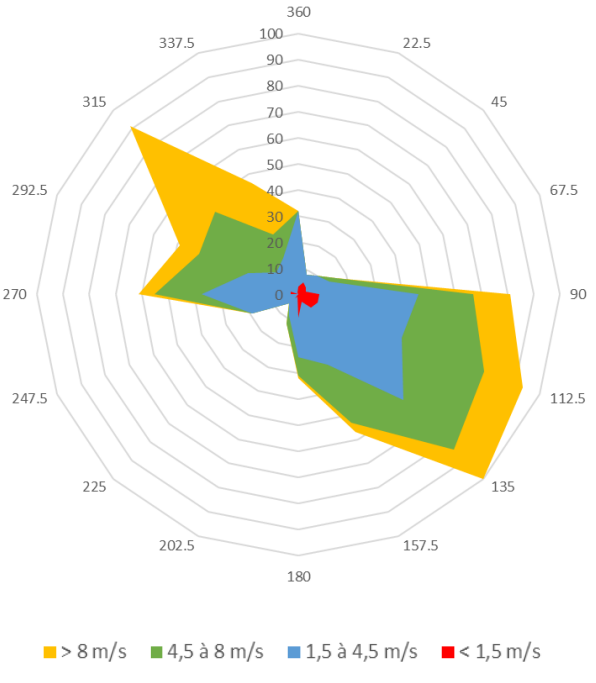
Source : Météo France



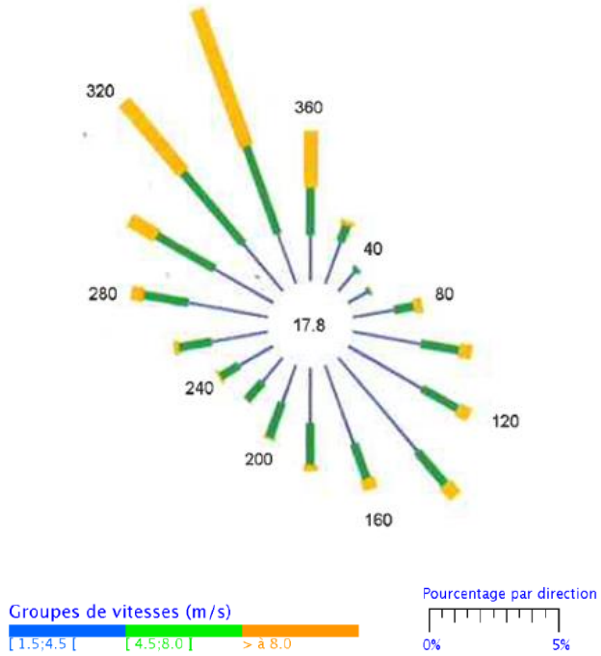
Rose des vents du 02 octobre au 16 octobre 2019



Rose des vents du 16 octobre au 31 octobre 2019



Rose des vents du 02 octobre au 31 octobre 2019



Normales sur 20 ans (1981-2000)

2.3.4.4 - Validité des points de mesure

Des capteurs témoin pour chaque polluant, appelés « blancs », ont permis de contrôler la qualité des résultats. Ces blancs ont suivi le parcours des autres capteurs lors de la pose, de la dépose et du transport des capteurs au laboratoire. Les concentrations mesurées sur ces capteurs sont inférieures au seuil de quantification.

> Les échantillons n'ont donc pas été contaminés et il n'est pas nécessaire de retrancher la valeur des blancs aux autres mesures.

Le site 12 est situé à proximité de la station urbaine AtmoSud d'Arles afin de comparer les mesures faites par Egis à celles d'AtmoSud.

Sur la campagne, les teneurs de dioxyde d'azote relevées par la station AtmoSud sont plus faibles que celles du site 12 d'Egis.

Néanmoins, les environnements des deux stations sont différents (*cf.* Figure 21). La station AtmoSud se trouve en hauteur à plusieurs mètres de la voie. Le site 12 d'Egis, est accroché à un poteau à 1m de la voie. Les conditions de mesures des deux stations sont différentes et peuvent expliquer les écarts entre les teneurs.

FIGURE 21 – PHOTOGRAPHIE DU SITE DE MESURE EGIS ET DE LA STATION ATMOSUD D'AIX ECOLE D'ART

Source : Egis – AtmoSud

2.3.4.5 - Résultats des campagnes de mesure et interprétation

Les résultats des mesures in situ de qualité de l'air sont présentés par groupement de polluants dans les paragraphes suivants. Les résultats détaillés, par site, des campagnes de mesure sont en annexes.

Dans les tableaux suivants, les teneurs (µg/m³) dépassant la valeur limite réglementaire sont mises en évidence en rouge.

Certaines teneurs sont inférieures aux limites de quantification, elles sont notées « <LQ » et ne sont pas prises en compte dans les calculs des moyennes. Ces teneurs n'apparaissent pas sur les figures.

À noter que la mesure des PM2.5 n'a duré que 5 jours au lieu de 14 pour cause d'intempéries. Les violents orages ont en effet endommagé le préleveur.

2.3.4.5.1 - Teneurs en polluants gazeux

Les teneurs en polluants gazeux par type d'ambiance sont présentées dans le Tableau 14 et représentées par période de mesure sur la Figure 22. Les périodes de mesure sont :

- Période 1 : 2 septembre au 16 septembre ;
- Période 2 : 16 septembre au 1er octobre.

Les polluants gazeux sont mesurés par échantillonneurs passifs, ils comprennent :

- Le dioxyde d'azote ;
- Le benzène ;
- Le dioxyde de soufre ;
- Le monoxyde de carbone ;
- Le 1,3-butadiène.

TABLEAU 14 – RÉSULTATS DES MESURES – POLLUANTS GAZEUX

Polluants	Unité	Moyenne		
		Urbain	Rural	Proximité routière
Dioxyde d'azote	µg/m³	24.75	21.59	33.59
Benzène	µg/m³		0.68	0.66
1,3 - Butadiène	µg/m³		0.07	0.08
Dioxyde de soufre	µg/m³		1.30	0.70
Monoxyde de carbone	µg/m³			

Polluants	Unité	Site 01	Site 02	Site 03	Site 04	Site 05	Site 06	Site 07	Site 08	Site 09	Site 10	Site 11	Site 12
Dioxyde d'azote	µg/m³	22.83	30.75	42.95	30.10	18.30	25.30	21.85	13.00	34.75	20.00	37.65	24.75
Benzène	µg/m³	0.65	0.50	0.75	0.70	0.70	0.60	0.65	0.60	0.70	0.85	0.70	
1,3 - Butadiène	µg/m³	0.04	0.05	0.09	0.11	0.06	0.08	0.07	0.07	0.08	0.10	0.11	
Dioxyde de soufre	µg/m³	<LQ	0.70	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1.30	<LQ	<LQ	<LQ	
Monoxyde de carbone	µg/m³	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	

Source : Egis - PASSAM - Tera Environnement

Les teneurs en dioxyde d'azote s'inscrivent dans un intervalle de valeurs qui reflète bien l'influence des émissions polluantes locales et, notamment celles du trafic routier :

- En situation de proximité routière, sous l'influence directe des émissions routières, les teneurs moyennes en NO_2 sont comprises entre 21.85 µg/m³ (site 07) et 42,95 µg/m³ (site 03). En moyenne, elles s'élèvent à 33,59 µg/m³ ;
- En situation de fond urbain, la teneur moyenne en NO_2 est moindre. Elle est égale 24,75 µg/m³ (site 12) ;

- En situation de fond rural, les teneurs moyennes en NO_2 sont les plus faibles. Elles sont comprises entre 13,0 µg/m³ (site 08) et 30,1 µg/m³ (site 04), soit en moyenne 21,59 µg/m³ ;

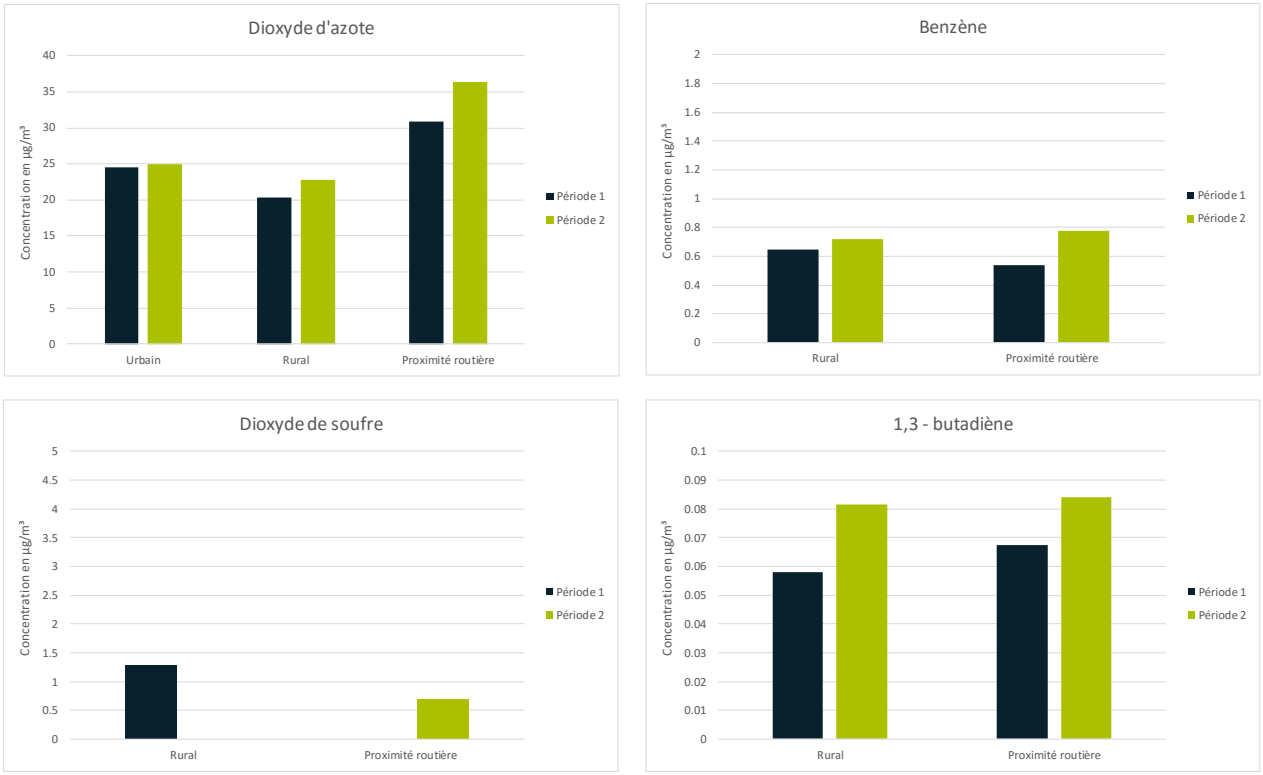
Les teneurs de benzène, de dioxyde de soufre, de monoxyde de carbone et de 1,3-butadiène sont assez similaires quel que soit l'influence des sources, ce qui reflète le faible impact des sources locales et la forte influence d'une teneur de fond sur l'ensemble de la zone d'étude. Néanmoins, aucun site en proximité routière n'a mesuré le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone et le 1,3-butadiène. Toutes les mesures de ces polluants respectent les normes de qualité de l'air[14]. À noter que l'ensemble des mesures de monoxyde de carbone sont inférieures à la limite de quantification, et seules deux mesures de dioxyde de soufre sont supérieures à la limite de quantification.

Les valeurs maximales en dioxyde d'azote ne respectant pas les normes de qualité de l'air (40 µg/m³) sont recensées sur des sites de proximité routière en bordure de l'autoroute A8 au Nord-Est de l'emprise de la ZAC :

- Le site 03, à hauteur de 39,8 µg/m³ (1ère période) et 46,1 µg/m³ (2nde période) ;
- Le site 11, à hauteur de 34,4 µg/m³ (1ère période) et 40,9 µg/m³ (2nde période).

FIGURE 22 – TENEURS EN POLLUANTS GAZEUX

Source : Egis – Passam – Tera Environnement



[14] *Benzène : valeur limite : 5 µg/m³ en moyenne annuelle / Dioxyde de soufre : valeur limite : 50 µg/m³ en moyenne annuelle / Monoxyde de carbone : Maximum jour sur 8h : 10 000 µg/m³*

2.3.4.5.2 - Teneurs particules PM10 et PM2.5

Les teneurs estimées en PM10 mesurées sur le site instrumenté, au cours de la première période de mesure, sont comprises entre 4 µg/m³ et 20 µg/m³, la moyenne sur les 2 semaines de mesure est de 13.4 µg/m³, (cf. Tableau 15). Les teneurs mesurées sont inférieures à l'objectif de qualité (30 µg/m³ en moyenne annuelle).

Les teneurs moyennes estimées en PM2.5 mesurées sur le site instrumenté, au cours de la deuxième période de mesure, sont comprises entre 7 µg/m³ et 59 µg/m³. La mesure de 59 µg/m³ semble aberrante, et pour être cohérent avec les mesures AtmoSud (cf. Tableau 18), cette donnée n'est pas prise en compte dans le calcul de la moyenne en PM2.5. La moyenne sur les 5 jours de mesure est donc de 8.7 µg/m³[15] (cf. Tableau 15). La teneur moyenne est inférieure à l'objectif de qualité (10 µg/m³ en moyenne annuelle) et donc inférieure à la valeur limite (25 µg/m³ en moyenne annuelle).

TABLEAU 15 – RÉSULTATS DES MESURES – PARTICULES PM10 ET PM2.5

Polluants	Unité	Site 01
PM_{10}	*µg/m³*	13.43
$PM_{2,5}$	*µg/m³*	8.67

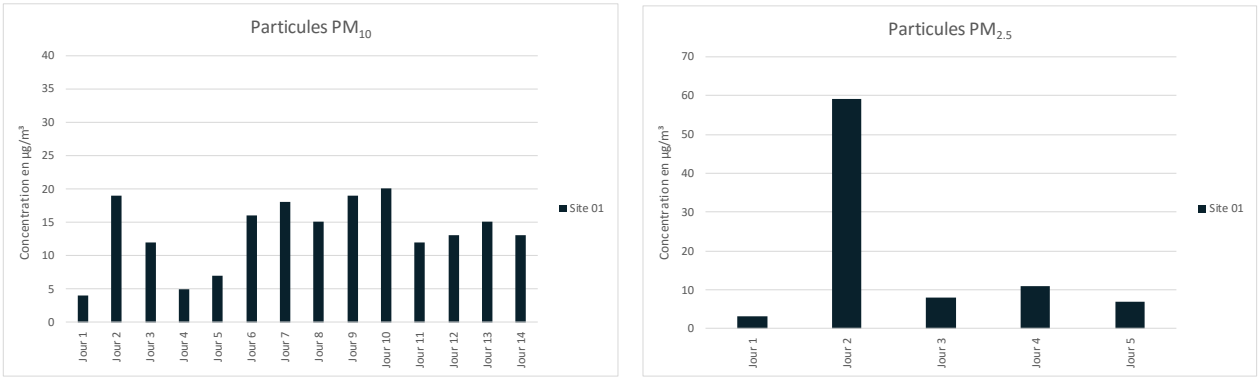
Source : Egis - PASSAM - Tera Environnement

Comme cité précédemment, les PM10 et PM2.5 ne sont pas mesurées sur la même période donc la comparaison entre ces deux polluants n'est pas possible.

La Figure 23 montre l'évolution des concentrations en PM10 et PM2.5 en fonction des jours pour chaque site de mesure.

FIGURE 23 – TENEURS EN PARTICULES PM10 ET PM2.5

Source : Egis – Tera Environnement



Les teneurs en PM10 sont assez variables en fonction des jours, contrairement aux PM2.5 qui sont globalement homogènes sur chaque jour à l'exception du jour 2, où un pic a été observé, probablement causé par un événement local et exceptionnel. Les teneurs en particules sont variables en fonction des jours car la météo peut être changeante et des émissions locales peuvent faire varier les concentrations sur une journée.

---

[15] *En prenant en compte la teneur de 59 µg/m³, la moyenne en PM2.5 s'élève à 21,2 µg/m³*

2.3.4.5.3 - Teneurs en métaux

Les métaux mesurés sont le chrome, le nickel et l'arsenic (cf. Tableau 16) :

- Les teneurs estimées en chrome sont comprises entre 6 ng/m^3 (1ère semaine) et 9 ng/m^3 (2ème semaine) ;
- Les teneurs estimées en nickel sont comprises entre 1.9 ng/m^3 (1ère semaine) et 3.5 ng/m^3 (2ème semaine) ;
- Les teneurs estimées en arsenic sont comprises entre <LQ (1ère semaine) et 0.3 ng/m^3 (2ème semaine).

TABLEAU 16 – RÉSULTATS DES MESURES – MÉTAUX

Polluants	Unité	Site 01
Chrome	*ng/m³*	7.50
Nickel	*ng/m³*	2.70
Arsenic	*ng/m³*	0.30

Source : Egis - PASSAM - Tera Environnement

Ces teneurs moyennes témoignent d'une bonne homogénéité et un respect des normes de qualité de l'air sur la zone d'étude[16].

2.3.4.5.4 - Teneurs en HAP

Les teneurs moyennes estimées en HAP mesurées sur le site instrumenté, sont inférieures à la limite de quantification (cf. Tableau 17). Toutes les autres mesures sont inférieures et donc non quantifiables (<LQ). Seul le benzo(a)pyrène est réglementé à une valeur cible fixée à 1 ng/m^3.

TABLEAU 17 – RÉSULTATS DES MESURES – HAP

Polluants	Unité	Site 01
Benzo(a)pyrène	*ng/m³*	<LQ
Acénaphtène	*ng/m³*	<LQ
Acénaphtylène	*ng/m³*	<LQ
Anthracène	*ng/m³*	<LQ
Benzo(a)anthracène	*ng/m³*	<LQ
Benzo(b+j)fluoranthène	*ng/m³*	<LQ
Benzo(k)fluoranthène	*ng/m³*	<LQ
Benzo(ghi)pérylène	*ng/m³*	<LQ
Chrysène	*ng/m³*	<LQ
Dibenzo(a,h)anthracène	*ng/m³*	<LQ
Fluorène	*ng/m³*	<LQ
Fluoranthène	*ng/m³*	<LQ
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	*ng/m³*	<LQ
Phénanthrène	*ng/m³*	<LQ
Pyrène	*ng/m³*	<LQ

Source : Egis - PASSAM - Tera Environnement

---

[16] *Arsenic : valeur cible : 6 ng/m³ en moyenne annuelle / Nickel : valeur cible : 20 ng/m³ en moyenne annuelle*

Ces teneurs témoignent d'une bonne homogénéité et d'une faible concentration en HAP sur la zone d'étude. Les concentrations en benzo(a)pyrène étant toutes inférieures à la limite de quantification, les normes de qualité de l'air sont respectées.

2.3.4.5.5 - Comparaison aux mesures de l'AASQA locale

Le Tableau 18 présente les mesures AtmoSud et Egis sur les mêmes périodes de mesure pour le dioxyde d'azote, les PM10 et les PM2.5. Les résultats sont également comparés aux moyennes annuelles AtmoSud. Les autres polluants ne sont pas mesurés par une station AtmoSud proche, donc non comparables.

TABLEAU 18 – COMPARAISON DES RÉSULTATS DES MESURES EGIS AUX DONNÉES ATMOSUD

Sites		Ambiance	Dioxyde d'azote	PM_{10}	$PM_{2,5}$
AtmoSud Aix Ecole d'Art	Campagne Egis	Fond urbain	17.7	13.0	11.3
	Moyenne annuelle 2018	Fond urbain	21.4	20.0	11.9
Campagne Egis	Moyenne	Fond rural	21.6	13.4	8.7
	Site 01 Partisol	Fond rural		13.4	8.7
	Site 12 Station AtmoSud	Fond urbain	24.8		

Source : Egis - Passam - Tera Environnement - AtmoSud

Le Tableau 18 indique que les valeurs en dioxyde d'azote mesurées lors des périodes de campagnes menées par Egis sont supérieures à la mesure de la station AtmoSud sur la même période. Les mesures Egis sont néanmoins cohérentes avec la moyenne annuelle AtmoSud. Comme précisé précédemment, il est important de rappeler que la disposition du site de mesure Egis et de la station AtmoSud est différente et peut impacter les résultats de mesures.

La teneur moyenne en PM10 mesurée par Egis est cohérente avec la mesure AtmoSud sur la même période. Ces mesures sont inférieures à la moyenne annuelle 2018.

La teneur moyenne en PM2.5 mesurée par Egis est inférieure à la mesure AtmoSud sur la même période et en moyenne annuelle. Il faut noter que l'ambiance des sites sont différentes, ce qui peut expliquer le léger écart entre les résultats AtmoSud et Egis.

2.3.4.5.6 - Comparaison aux normes en vigueur

Au regard des résultats de la campagne de mesure menée du 2 octobre au 31 octobre 2019, la qualité de l'air est globalement satisfaisante sur la zone d'étude.

Les teneurs en polluants respectent les valeurs limites de qualité de l'air en vigueur dans l'emprise du projet, à l'exception du site 03 et 11 à proximité de l'autoroute A8 pour le dioxyde d'azote.

2.4 - Conclusion

Sur la base des éléments bibliographiques disponibles, la caractérisation de l'état actuel à proximité immédiate de l'emplacement projeté de la ZAC de la Constance a permis de mettre en évidence :

- Un environnement caractérisé principalement par des espaces périurbains ;
- Aucun établissement à caractère sanitaire et social et 3 sites sensibles dans l'emprise du projet ;
- Trois stations permanentes de mesure AtmoSud situées à 1,7 km, 1,9 km et 5 km de celui-ci.

La campagne de mesures, réalisée en octobre 2019 a mis en évidence des teneurs en polluants en-deçà des normes de qualité de l'air en vigueur, à l'exception du dioxyde d'azote à proximité de l'autoroute A8. La qualité de l'air dans l'emprise du projet est donc bonne.

3 - ÉVALUATION DE L'IMPACT DU PROJET SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

L'évaluation de l'impact du projet sur la qualité de l'air se déroule en trois étapes :

- L'**évaluation des émissions polluantes** induites par le trafic routier sur le projet et les axes routiers impactés par le projet, y compris les émissions polluantes des autres projets existants ou approuvés présents dans la zone d'étude ;
- La **modélisation de la dispersion atmosphérique** de ces émissions et l'évaluation des teneurs en polluant dans l'air ambiant dans la zone d'étude ;
- La **comparaison de ces teneurs aux normes de qualité de l'air en vigueur**.

Le chapitre 3.1 - Méthodologie a pour objet de présenter l'ensemble des données, hypothèses et logiciels utilisés dans le cadre de cette évaluation. Les résultats obtenus sont présentés dans le chapitre 3.2 - Évaluation de l'impact du projet sur la qualité de l'air.

3.1 - Méthodologie

3.1.1 - Réseau routier et trafics

Les données de trafics sont issues des études réalisées par le cabinet Horizon Conseil chargé de l'étude déplacement. Celles-ci ont été validées par la SEMEPA.

Le réseau routier retenu pour l'étude se compose, d'après la note technique du 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du CEREMA, de :

- Le projet routier retenu, y compris les différentes variantes de tracé ;
- L'ensemble des voies dont le trafic est affecté significativement par le projet :
  - Pour un TMJA > 5 000 véh/jles tronçons dont le trafic varie au minimum de ±10 % à l'horizon de mise en service ;
  - Pour un TMJA < 5 000 véh/jles tronçons dont le trafic varie au minimum de ±500 véh/j ;
- L'ensemble des projets d'infrastructure routière existants ou approuvés présents dans la zone d'étude, même s'ils ne sont ni impactants pour le projet, ni impactés par celui-ci ;
- Lorsque le niveau d'étude requiert une modélisation des concentrations dans la zone d'étude, les infrastructures portant plus de 5 000 véh/j ne subissant pas de variation de ±10 % de leur trafic pourront être intégrées au modèle sous forme d'émissions linéiques de façon à mieux décrire les variations de la pollution de fond à l'intérieur de la zone d'étude.

À l'horizon 2013, l'étude porte sur la situation actuelle nommée ***État de référence*** (ER).

À l'horizon 2033, l'étude porte sur 2 situations nommées :

- ***Fil de l'eau*** à savoir la situation future sans la réalisation du projet ;
- ***État projeté*** à savoir la situation future avec la réalisation du projet.

Le réseau routier retenu est présenté sur la Figure 24. Le réseau est composé de 20 tronçons.

Un modèle de trafic est réalisé à partir de données de comptages effectués sur des lieux spécifiques et représentatifs du maillage routier. L'analyse de ces comptages permet de déterminer des profils temporels de circulation en fonction des jours de la semaine et des heures de la journée.

La représentativité des périodes de trafic observées s'ajoute à la pertinence du choix des lieux de comptage comme premier niveau d'incertitude entre la réalité et le modèle.

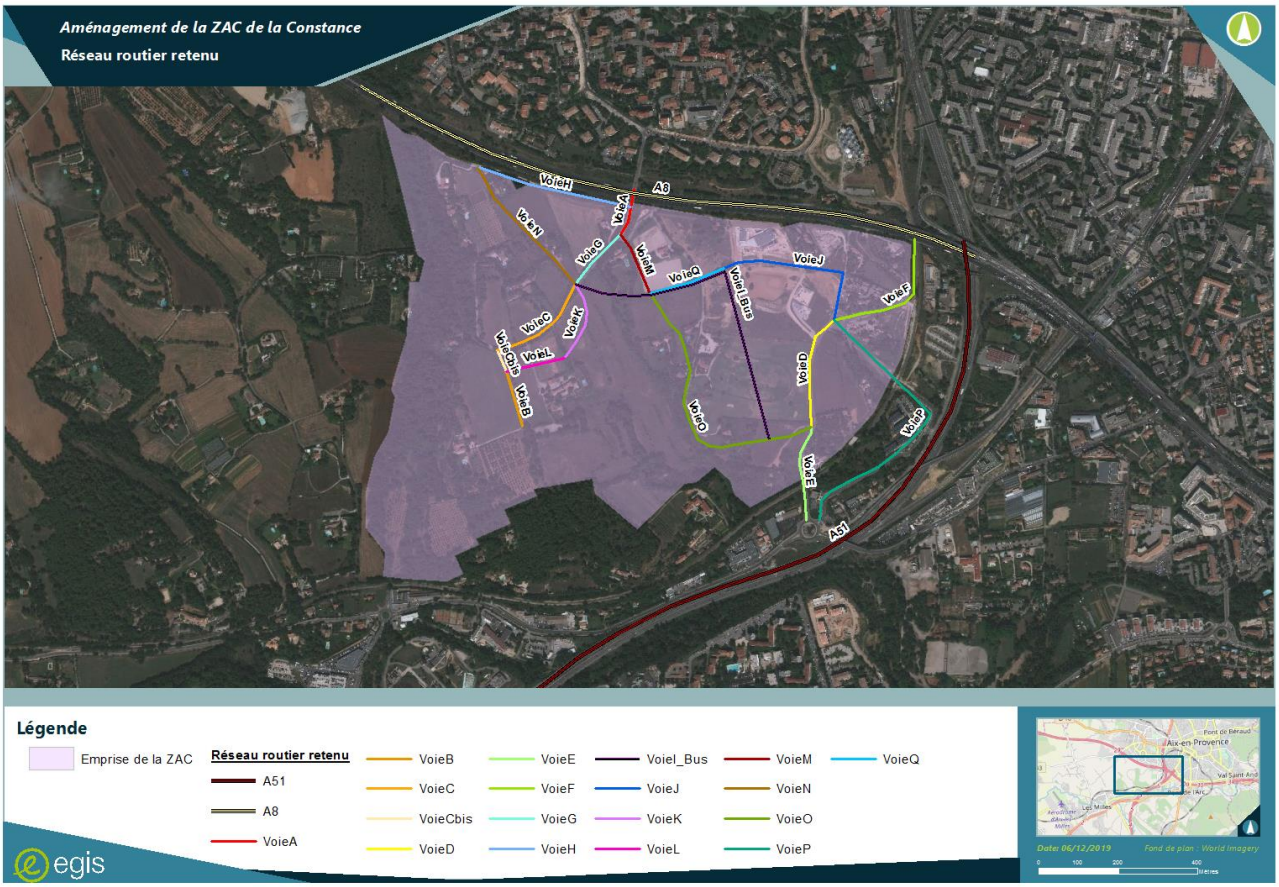
Ces profils permettent ainsi de déterminer des vitesses de circulation, la part modale des différents types de véhicules (VL, utilitaires, PL, etc.) et des taux de congestion/saturation au droit de ces sites instrumentés. Ces paramètres sont affectés pour chacun des tronçons comportant une boucle de comptage.

Les voies de circulation, pour lesquelles il n'y a pas eu de comptages réalisés, se verront affecter un profil type correspondant à la nature de la voie (autoroutes, routes nationales et départementales, dessertes locales, voiries urbaines, etc.).

Un second niveau d'incertitude est ainsi induit par l'usage de ces profils type, ne prenant pas en compte les spécificités locales des trafics routiers.

FIGURE 24 – RÉSEAU ROUTIER RETENU

Source : Egis



Le réseau compte 10 tronçons et un linéaire total de 5,07 km pour l'***État de référence*** et le ***Fil de l'eau***, et compte 20 tronçons et un linéaire total de 9,28 km pour l'***État projeté***. Les trafics sont détaillés dans le Tableau 19.

Les autoroutes A8 et A51 ne sont pas intégrées dans l'emprise du projet (car non impactées) mais ont été prise en compte dans les modélisations de la qualité de l'air du fait des émissions importantes qu'elles génèrent et qui sont à l'origine de concentrations élevées dans la zone d'étude.

TABLEAU 19 – TRAFICS DU RÉSEAU ROUTIER

Numéro	Nom	Vitesse	Longueur	ER			FE			EP			
		en km/h	*en km*	TMJA	VL	PL	TMJA	VL	PL	TMJA	VL	PL	BUS
1	VoieCbis	30	0.06	2500	2470	30	2700	2670	30	3808	3713	95	0
2	VoieA	50	0.12	2500	2470	30	2700	2670	30	6992	6817	175	0
3	VoieB	30	0.15	0	0	0	0	0	0	1038	1012	26	0
4	VoieC	30	0.27	2500	2470	30	2700	2670	30	0	0	0	0
5	VoieD	30	0.29	6701	6533	168	7400	7215	185	3496	3409	87	0
6	VoieE	50	0.24	6701	6533	168	7400	7215	185	123	0	3	120
7	VoieF	50	0.36	6701	6533	168	7400	7215	185	6335	6177	118	40
8	VoieG	50	0.17	2500	2470	30	2700	2670	30	4950	4826	84	40
9	VoieH	50	0.40	0	0	0	0	0	0	5088	4961	87	40
10	VoieJ	30	0.43	0	0	0	0	0	0	7477	7290	147	40
11	VoieK	50	0.21	0	0	0	0	0	0	5504	5366	98	40
12	VoieL	30	0.15	0	0	0	0	0	0	4915	4792	83	40
13	VoieM	30	0.16	0	0	0	0	0	0	9138	8910	228	0
14	VoieN	50	0.38	0	0	0	0	0	0	692	675	7	10
15	VoieO	30	0.70	0	0	0	0	0	0	4154	4050	104	0
16	VoieP	50	0.75	0	0	0	0	0	0	9069	8842	227	0
17	VoieQ	30	0.20	0	0	0	0	0	0	8308	8100	208	0
18	Voiel_Bus	30	0.83	0	0	0	0	0	0	135	0	0	135
19	A8	115	1.63	46951	42725	4226	57700	52507	5193	57700	52507	5193	0
20	A51	80	1.79	101101	93518	7583	106200	98235	7965	106200	98235	7965	0

Source : Horizon Conseil

Sur la base de ces trafics, le kilométrage parcouru[17] (*cf.* Tableau 20) entre l'***État de référence*** 2013 et le ***Fil de l'eau*** 2033 augmenterait de 10 % sur le réseau routier étudié. Plus précisément, les variations sont en augmentation de 8 % à 10 % pour les tronçons dans l'emprise du projet. L'autoroute A8 voit son kilométrage parcouru augmenter de 23 % et l'A51 de 5%.

Entre le ***Fil de l'eau*** 2033 et l'***État projeté*** 2033, le kilométrage parcouru augmenterait encore de 6 %. Cette augmentation résulte de la réalisation du projet de la ZAC de la Constance et la création de nouvelles voies. En effet, 4 des tronçons déjà existant au ***Fil de l'eau*** enregistrent une diminution de 14 % à 100 % du kilométrage parcouru, mais 3 autres tronçons ont leur kilométrage parcouru qui augmente de 41 % à 159 %.

Le projet entraine l'apport de nouveaux véhicules sur le réseau routier et de nouvelles voies, donc le kilométrage parcouru augmente. Les autoroutes ne sont pas impactées par le projet, le kilométrage parcouru est strictement le même qu'au ***Fil de l'eau***.

[17] *Le kilométrage parcouru correspond, pour un tronçon donné, au produit du trafic (TMJA) et de la distance parcourue.*

TABLEAU 20 – KILOMÉTRAGE PARCOURU

Nom	Kilométrage parcouru			Évolution	
	ER	FE	EP	(FE-ER)/ER	(EP-FE)/FE
VoieCbis	146	158	222	8%	41%
VoieA	303	327	846	8%	159%
VoieB	0	0	151		100%
VoieC	680	734	0	8%	-100%
VoieD	1 946	2 149	1 015	10%	-53%
VoieE	1 628	1 798	30	10%	-98%
VoieF	2 381	2 629	2 251	10%	-14%
VoieG	421	455	834	8%	83%
VoieH	0	0	2 013		100%
VoieJ	0	0	3 213		100%
VoieK	0	0	1 151		100%
VoieL	0	0	738		100%
VoieM	0	0	1 507		100%
VoieN	0	0	266		100%
VoieO	0	0	2 925		100%
VoieP	0	0	6 762		100%
VoieQ	0	0	1 646		100%
Voiel_Bus	0	0	112		100%
A8	76 413	93 907	93 907	23%	0%
A51	181 040	190 171	190 171	5%	0%
TOTAL	**264 957**	**292 327**	**309 760**	**10%**	**6%**

Source : Egis

3.1.2 - Évaluation des émissions routières

Les émissions routières ont été évaluées selon la méthodologie COPERT (COmputer Programme to Calculate Emissions from Road Transport), dans sa version COPERT 5.

Le développement de COPERT est réalisé par EMISIA SA pour l'Agence Européenne pour l'Environnement (EEA) dans le cadre du consortium European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation.

Cette méthodologie comprend une bibliothèque de facteurs d'émissions unitaires qui expriment la quantité de polluants émis par un véhicule donné, sur un parcours donné d'un kilomètre, pour une année donnée. Ces facteurs d'émissions unitaires, exprimés en g/km, sont fonction de la catégorie du véhicule (voitures particulières, véhicules utilitaires légers, poids-lourds, bus, *etc.*), de son mode de carburation (essence, diesel), de sa cylindrée (ou de son poids total autorisé en charge pour les poids lourds), de sa date de mise en circulation (normes Euro) et de son âge, de sa vitesse et des conditions de circulation. Pour déterminer ces émissions unitaires, des mesures des émissions sont effectuées en laboratoire pour différents cycles représentatifs de conditions réelles de circulation.

Les parcs retenus sont les parcs roulants de COPERT de 2015 (horizon le plus ancien disponible) et de 2030 (dernier horizon disponible). Ils ont été réalisés par l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux). Ces parcs ont été conçus à partir de travaux de recherche du début des années 2000. Bien que régulièrement mis à jour, ils n'intègrent pas toutes les orientations politiques (taxation du diésel, par exemple) et sociétales (scandale de fraude aux émissions des moteurs diésel, véhicules hybrides et électriques, etc.). À ce titre, les parcs roulants disponibles ne sont pas totalement représentatifs des horizons d'étude retenus et doivent être utilisés pour une analyse relative des bilans des émissions.

L'évaluation des émissions routières reposent sur trois critères spécifiques présentant chacun un certain nombre d'incertitudes :

- Le trafic routier retenu sur le réseau routier étudié dont les deux niveaux d'incertitude – la représentativité des périodes et des sites de comptages et l'utilisation de profils types – ont été évoqués au paragraphe précédent (*cf.* 3.1.1 - Réseau routier et trafics) ;
- Les facteurs d'émissions sont incertains ou agrégés et ne prennent pas en compte avec assez de précision les spécificités locales (conditions météorologiques, topographie et état des routes, etc.) ou unitaires des véhicules (entretien, type de conduite, etc. ;
- Les parcs roulants sont représentatifs des données nationales et ne considèrent pas les spécificités d'ancienneté, de typologie et d'usage relatives à la sectorisation géographique (Paris et les petites et grandes couronnes franciliennes vs les secteurs ruraux hors agglomération, par exemple). Par ailleurs, les parcs prévisionnels reposent sur des anticipations statistiquement probables mais souvent altérées *a posteriori* par des évolutions conjoncturelles, politiques et sociétales.

Le cumul de ces incertitudes doit conduire à utiliser les valeurs déterminées avec prudence en favorisant davantage une analyse relative des résultats plutôt qu'une analyse absolue.

Malgré les incertitudes existantes sur les résultats, **la méthodologie COPERT constitue, à ce jour, la référence en termes d'évaluation des émissions routières et son utilisation fait aujourd'hui l'objet d'un consensus au niveau européen.**

3.1.3 - Évaluation des teneurs en polluants

La dispersion des polluants et l'évaluation de leurs concentrations dans l'air ambiant ont été réalisées avec le modèle ADMS Roads v.4. Ce logiciel est un modèle de dispersion atmosphérique gaussien, dit de seconde génération, qui repose sur les technologies et les connaissances les plus récentes dans le domaine de la qualité de l'air.

Utilisé, reconnu et validé en France et à l'international (plus de 1 000 utilisateurs), il bénéficie des résultats d'un groupe de chercheurs de Cambridge, le Cambridge Environmental Research Consultant (CERC), qui le

développent depuis 1993. Il permet d'évaluer les teneurs des polluants réglementés en prenant en compte les effets complexes impliqués dans la dispersion atmosphérique : l'influence de la topographie, les effets « canyon », la description verticale de la turbulence atmosphérique, la nature des sols (rugosité), les phénomènes météorologiques complexes.

Ce modèle permet ainsi de répondre de manière complète à l'objectif de l'étude : estimation des concentrations moyennes annuelles, comparaison aux valeurs seuils définies dans la réglementation et estimation de l'exposition de la population.

Les données météorologiques utilisées reposent sur des systèmes standards de métrologie utilisées par les acteurs mondiaux de ce secteur, dont Météo France, en particulier, pour le territoire français. Cette métrologie est effectuée avec des équipements régulièrement contrôlés et calibrés afin de réduire la plus possible l'incertitude liée aux mesures.

Toutefois, les données météorologiques mesurées en un point donné ne peuvent être strictement représentatives que de ce site, sur le plan géographique, et que lors des mesures, sur le plan temporel. Étendre les valeurs mesurées à des sites proches et de nature similaire, de même qu'extrapoler les mesures à des périodes (jours, mois, année) crée obligatoirement une approximation, toutefois acceptable dans la présente étude.

Par ailleurs, ces données météorologiques fluctuent d'une année sur l'autre et les données d'une année particulière ne sauraient refléter le changement climatique en cours, ni anticiper sur les conditions météorologiques de l'horizon futur (2033). L'usage d'un contexte météorologique identique pour les trois scénarios crée donc un biais par rapport à la réalité, mais permet d'optimiser la comparaison de ces scénarios en s'affranchissant du critère météo.

Au-delà de l'incertitude liée à la météorologie retenue, les modèles gaussiens (dont ADMS, utilisé pour cette étude) présentent des limites pour les secteurs très proches des sources du fait de la turbulence importante inhérente à la création du panache de pollution et pour les secteurs très éloignés pour lesquels les proportions très faibles des polluants dans l'air sont difficilement quantifiables.

Dans les paramètres principaux utilisés par les modèles gaussiens, outre les émissions évoquées au paragraphe précédent et la météorologie (vent, stabilité atmosphérique) mentionnée ci-dessus, la rugosité a un rôle important. Elle permet de définir l'interaction des types de sol sur les écoulements des flux d'air : une surface importante d'eau (mer, lac) entravera très peu les déplacements des masses d'air, *a contrario* une futaie élevée ou les bâtiments d'une ville perturberont fortement les mouvements d'air et par conséquent la dispersion des polluants. Le plus souvent, une rugosité moyenne est retenue pour les modélisation de dispersion des polluants (c'est le cas dans la présente étude), mais la différenciation des typologies des sols peut s'avérer nécessaire pour des zones d'étude dont l'occupation des sols est très disparate, en termes de valeurs de rugosité. Mais quelle que soit la méthodologie retenue de détermination de la rugosité, l'approche demeure globale et ne tient pas compte précisément de l'échelle locale (haies, bâtiments, etc.).

Un autre critère, spécifique à ADMS, peut engendre une nouvelle incertitude pouvant parfois être très importante. Il s'agit de la non-prise en compte des vents calmes (< 0.75 m/s) dans les calculs de modélisation. Dans certains contextes géographiques, cette proportion d'observations peut être majoritaire et conséquemment altérer les résultats de la dispersion. La version d'ADMS utilisée permet néanmoins de prendre en compte ces situations de vents calmes en utilisant des niveaux moyens de vents au droit des effluents.

Enfin, les valeurs de fond retenues pour les polluants proviennent de l'analyse des campagnes de mesure par capteurs passifs et analyseurs dynamiques. Le report des incertitudes lié aux mesures est ainsi transféré sur les évaluations des concentrations.

Comme pour les calculs d'émissions, les différentes incertitudes précisées ci-dessus ne permettent de pouvoir afficher avec exactitude des niveaux de concentration des polluants dans l'atmosphère. L'analyse permettra toutefois une analyse relative précise et juste entre les scénarios étudiés.

Les conditions d'utilisation du modèle et les paramètres retenus dans le cadre de cette étude sont présentés dans le Tableau 21.

TABLEAU 21 – PRINCIPAUX PARAMÈTRES POUR LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE DANS ADMS ROADS

Résolution

La grille de calcul se compose d'un maillage régulier de 3 621 points, soit une résolution de 40 m sur l'ensemble de la zone d'étude.

À proximité des axes routiers, ce maillage a été affiné avec l'ajout de points de maillage placés sous forme de transects de part et d'autre du linéaire étudié :

- 10 249 points pour l'***État de référence*** et le ***Fil de l'eau*** ;
- 15 618 points pour l'***État projeté*** .

Les teneurs en polluant ont été évaluées en chaque point de cette grille.

Nature des sols

La nature des sols peut influencer la progression des panaches de polluants.

Dans le cadre de cette étude, la nature des sols a été caractérisée par une rugosité de 0,5 mètre sur l'ensemble de la zone d'étude. Cette rugosité correspond à des zones périurbaines.

Topographie

Compte tenu du relief légèrement marqué sur la zone d'étude et son influence probable sur les champs de vent, la topographie du site a été prise en compte dans le calcul de la dispersion atmosphérique.

Caractéristiques des polluants étudiés

Les polluants de type gazeux (dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, monoxyde de carbone et benzène, etc.) ont été assimilés à des gaz passifs. Les particules et les métaux lourds ont été assimilés à des particules d'une densité de 5 000 kg/m^3 et de diamètres respectifs 10 µm et 2,5 µm.

Teneurs de fond

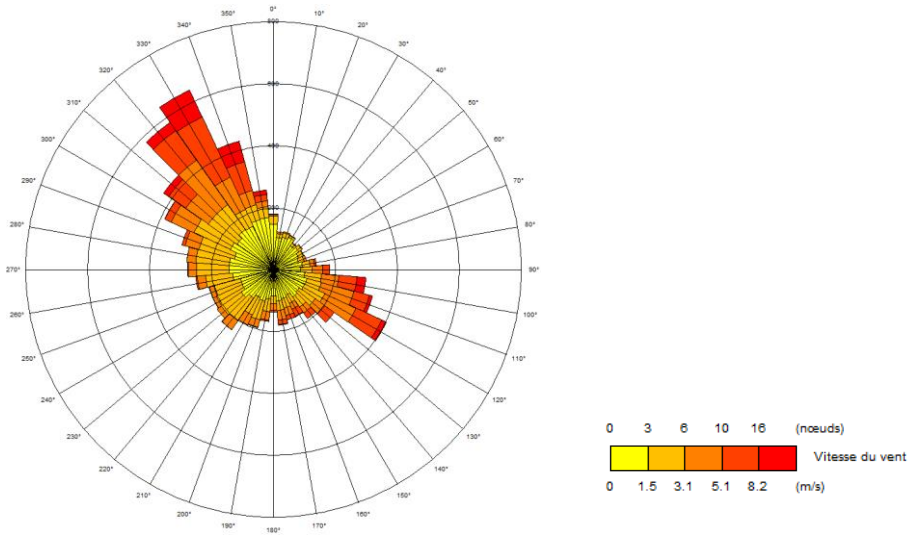
Les teneurs de fond retenues correspondent aux teneurs moyennes de fond rural mesurées pendant la campagne de mesure Egis. Les teneurs inférieures à la limite de quantification n'ont pas été prises en compte dans le calcul des moyennes. Donc certaines moyennes sont surestimées.

- Dioxyde d'azote : 21,6 µg/m^3
- Particules PM_{10} : 13,4 µg/m^3
- Particules $PM_{2,5}$: 8,67 µg/m^3
- Dioxyde de soufre : 1,3 µg/m^3
- Benzène : 0,68 µg/m^3
- 1,3-butadiène : 0,07 µg/m^3
- Monoxyde de carbone : 0 µg/m^3
- Nickel : 2,7 ng/m^3
- Chrome : 7,5 ng/m^3
- Arsenic : 0,3 ng/m^3

En l'absence de valeurs quantifiables pour l'ensemble des HAP, la teneur de fond a été prise égale à zéro.

Météorologie

Afin de décrire au mieux les conditions de dispersion, l'évaluation des teneurs en polluant dans l'air ambiant s'est appuyée sur les données météorologiques tri-horaires (température, direction et vitesse du vent, nébulosité pour appréhender la stabilité Atmosphérique) relevées sur la station Météo France d'Aix-les-Milles pour l'année 2006, année représentative des moyennes saisonnières.



Rose des vents pour la station d'Aix-les-Milles - année 2006

Source : Egis - Météo France

3.2 - Évaluation de l'impact du projet sur la qualité de l'air

3.2.1 - Bilan des émissions routières dans la zone d'étude

Les émissions routières ont été évaluées pour chacun des tronçons du réseau routier, aux horizons 2013 pour l'***État de référence*** (ER) et 2033 pour le ***Fil de l'eau*** (FE) et l'***État projeté*** (EP).

3.2.1.1 - Analyse comparative des bilans des émissions entre l'État de référence et l'horizon de mise en service sans projet

Les bilans des émissions routières aux horizons 2013 (***État de référence***) et 2033 sans projet (***Fil de l'eau***) sont présentés dans le Tableau 22, le Tableau 23 et le Tableau 24. Dans le second et le troisième tableau, les pourcentages correspondent aux écarts relatifs entre l'***État de référence*** et le ***Fil de l'eau*** (noté *(FE-ER)/ER*).

L'analyse comparative des émissions polluantes à ces deux horizons met en évidence la même tendance d'évolution pour chaque tronçon routier à l'exception de l'A8 car l'augmentation de son kilométrage parcouru est plus élevée que les autres tronçons (+23 % contre +5 % en moyenne).

L'évolution des émissions est néanmoins différente suivant les polluants :

- Les émissions des polluants gazeux sont en **diminution** de -56 % à -86 %, à l'exception des émissions de dioxyde de soufre qui augmentent légèrement de 2 %. L'A8 est responsable de cette légère augmentation ;
- Les émissions des particules PM10 et PM2.5 sont en **diminution** de -46 % et -60 % ;
- Les émissions de métaux sont en **augmentation** de 1% à 10%. Comme pour le dioxyde de soufre, l'évolution globale des émissions est masquée par l'A8. L'évolution sur les autres tronçons est peu significative (-4 % à +9 %) ;
- Les émissions des HAP sont assez disparates :
  - Les émissions de benzo(a)pyrène, benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, acénaphtène, acénaphtylène, chrysène, dibenzo(a,h)anthracène, fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, phénanthrène et pyrène **diminuent** de -5 % à -36 % ;
  - Les émissions de benzo(j)fluoranthène, anthracène et fluorène **augmentent** de 11 % à 48 %.

Les émissions routières diminuent donc pour certains des polluants malgré l'augmentation du kilométrage parcouru (+10 %). Ces résultats montrent les effets positifs liés aux améliorations technologiques (généralisation du pot catalytique, reformulation des carburants, etc.). Le renouvellement du parc roulant est un facteur important de réductions des pollutions atmosphériques.

TABLEAU 22 – BILAN DES ÉMISSIONS ROUTIÈRES À L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE – 2013

		TRONÇONS									TOTAL
		A51	A8	VoieA	VoieC	VoieCbis	VoieD	VoieE	VoieF	VoieG	
Dioxyde d'azote	kg/j	3.76E+01	2.65E+01	5.31E-02	1.74E-01	3.18E-02	4.40E-01	3.68E-01	4.32E-01	9.17E-02	**6.57E+01**
PM_{10}	kg/j	8.67E+00	4.78E+00	1.31E-02	5.58E-02	8.64E-03	1.21E-01	1.01E-01	1.08E-01	2.49E-02	**1.39E+01**
$PM_{2,5}$	kg/j	6.95E+00	4.02E+00	9.67E-03	3.91E-02	6.24E-03	8.76E-02	7.33E-02	7.98E-02	1.80E-02	**1.13E+01**
Monoxyde de carbone	kg/j	7.68E+01	8.57E+01	1.81E-01	6.91E-01	1.15E-01	1.56E+00	1.30E+00	1.44E+00	3.32E-01	**1.68E+02**
COVNM	kg/j	5.96E+00	3.06E+00	1.77E-02	7.55E-02	1.23E-02	1.68E-01	1.40E-01	1.42E-01	3.54E-02	**9.61E+00**
Benzène	kg/j	1.18E-01	7.01E-02	4.87E-04	2.10E-03	3.36E-04	4.43E-03	3.71E-03	3.79E-03	9.70E-04	**2.04E-01**
1,3-butadiène	kg/j	7.98E-02	4.07E-02	1.28E-04	5.61E-04	9.00E-05	1.40E-03	1.17E-03	1.17E-03	2.60E-04	**1.25E-01**
Dioxyde de soufre	kg/j	8.92E-01	4.81E-01	1.31E-03	4.32E-03	7.71E-04	1.07E-02	8.98E-03	1.08E-02	2.22E-03	**1.41E+00**
Arsenic	kg/j	3.35E-06	1.81E-06	5.00E-09	1.60E-08	3.00E-09	4.00E-08	3.40E-08	4.00E-08	8.00E-09	**5.30E-06**
Nickel	kg/j	2.56E-05	1.38E-05	3.80E-08	1.24E-07	2.20E-08	3.09E-07	2.58E-07	3.09E-07	6.40E-08	**4.06E-05**
Chrome	kg/j	7.06E-05	3.81E-05	1.04E-07	3.43E-07	6.10E-08	8.51E-07	7.12E-07	8.53E-07	1.76E-07	**1.12E-04**
Benzo(a)pyrène	kg/j	2.40E-04	1.01E-04	3.89E-07	8.74E-07	1.87E-07	2.49E-06	2.08E-06	3.05E-06	5.41E-07	**3.50E-04**
Benzo(a)anthracène	kg/j	4.20E-04	1.77E-04	6.64E-07	1.49E-06	3.20E-07	4.27E-06	3.57E-06	5.23E-06	9.24E-07	**6.14E-04**
Benzo(b)fluoranthène	kg/j	3.29E-04	1.43E-04	4.52E-07	1.02E-06	2.18E-07	3.01E-06	2.52E-06	3.68E-06	6.29E-07	**4.84E-04**
Benzo(k)fluoranthène	kg/j	2.82E-04	1.25E-04	3.59E-07	8.07E-07	1.73E-07	2.44E-06	2.04E-06	2.98E-06	5.00E-07	**4.16E-04**
Benzo(ghi)pérylène	kg/j	4.62E-04	1.93E-04	7.66E-07	1.72E-06	3.70E-07	4.88E-06	4.09E-06	5.98E-06	1.07E-06	**6.74E-04**
Benzo(j)fluoranthène	kg/j	2.10E-04	1.03E-04	1.03E-07	2.32E-07	5.00E-08	9.90E-07	8.29E-07	1.21E-06	1.44E-07	**3.17E-04**
Acénaphtène	kg/j	4.26E-03	1.77E-03	7.11E-06	1.60E-05	3.43E-06	4.51E-05	3.77E-05	5.52E-05	9.89E-06	**6.21E-03**
Acénaphtylène	kg/j	3.19E-03	1.32E-03	5.32E-06	1.19E-05	2.57E-06	3.37E-05	2.82E-05	4.13E-05	7.40E-06	**4.64E-03**
Anthracène	kg/j	4.46E-04	1.96E-04	5.95E-07	1.34E-06	2.87E-07	4.00E-06	3.34E-06	4.89E-06	8.28E-07	**6.57E-04**
Chrysène	kg/j	8.53E-04	3.74E-04	1.13E-06	2.53E-06	5.42E-07	7.55E-06	6.32E-06	9.24E-06	1.57E-06	**1.26E-03**
Dibenzo(a,h)anthracène	kg/j	5.51E-05	2.33E-05	8.60E-08	1.93E-07	4.10E-08	5.54E-07	4.64E-07	6.78E-07	1.20E-07	**8.05E-05**
Fluorène	kg/j	5.43E-04	2.75E-04	1.45E-07	3.26E-07	7.00E-08	1.95E-06	1.63E-06	2.39E-06	2.02E-07	**8.24E-04**
Fluoranthène	kg/j	3.88E-03	1.64E-03	6.11E-06	1.37E-05	2.95E-06	3.93E-05	3.29E-05	4.81E-05	8.51E-06	**5.66E-03**
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	kg/j	2.35E-04	9.92E-05	3.72E-07	8.37E-07	1.80E-07	2.40E-06	2.01E-06	2.94E-06	5.18E-07	**3.43E-04**
Phénanthrène	kg/j	7.48E-03	3.14E-03	1.21E-05	2.73E-05	5.85E-06	7.76E-05	6.49E-05	9.49E-05	1.69E-05	**1.09E-02**
Pyrène	kg/j	3.66E-03	1.56E-03	5.54E-06	1.24E-05	2.67E-06	3.59E-05	3.01E-05	4.40E-05	7.70E-06	**5.36E-03**

Source : Egis

TABLEAU 23 – BILAN DES ÉMISSIONS ROUTIÈRES AU FIL DE L'EAU – PARTIE 1 – 2033

		TRONÇONS									TOTAL
		A51	A8	VoieA	VoieC	VoieCbis	VoieD	VoieE	VoieF	VoieG	
Dioxyde d'azote	kg/j	1.45E+01	1.37E+01	2.47E-02	7.58E-02	1.42E-02	1.92E-01	1.61E-01	1.97E-01	4.09E-02	**2.88E+01**
	(FE-ER)/ER	*-62%*	*-48%*	*-54%*	*-56%*	*-55%*	*-56%*	*-56%*	*-54%*	*-55%*	***-56%***
PM_{10}	kg/j	4.64E+00	2.48E+00	9.28E-03	4.41E-02	6.40E-03	9.09E-02	7.60E-02	7.78E-02	1.85E-02	**7.44E+00**
	(FE-ER)/ER	*-47%*	*-48%*	*-29%*	*-21%*	*-26%*	*-25%*	*-25%*	*-28%*	*-26%*	***-46%***
$PM_{2,5}$	kg/j	2.82E+00	1.55E+00	5.57E-03	2.61E-02	3.82E-03	5.43E-02	4.54E-02	4.67E-02	1.10E-02	**4.56E+00**
	(FE-ER)/ER	*-59%*	*-62%*	*-42%*	*-33%*	*-39%*	*-38%*	*-38%*	*-42%*	*-39%*	***-60%***
Monoxyde de carbone	kg/j	2.41E+01	4.33E+01	4.23E-02	1.34E-01	2.50E-02	3.44E-01	2.88E-01	3.42E-01	7.21E-02	**6.86E+01**
	(FE-ER)/ER	*-69%*	*-50%*	*-77%*	*-81%*	*-78%*	*-78%*	*-78%*	*-76%*	*-78%*	***-59%***
COVNM	kg/j	6.94E-01	6.25E-01	1.11E-03	3.87E-03	6.94E-04	1.06E-02	8.85E-03	9.83E-03	2.00E-03	**1.36E+00**
	(FE-ER)/ER	*-88%*	*-80%*	*-94%*	*-95%*	*-94%*	*-94%*	*-94%*	*-93%*	*-94%*	***-86%***
Benzène	kg/j	1.70E-02	2.26E-02	4.46E-05	1.46E-04	2.72E-05	3.67E-04	3.07E-04	3.55E-04	7.85E-05	**4.09E-02**
	(FE-ER)/ER	*-86%*	*-68%*	*-91%*	*-93%*	*-92%*	*-92%*	*-92%*	*-91%*	*-92%*	***-80%***
1,3-butadiène	kg/j	1.42E-02	1.03E-02	1.29E-05	4.80E-05	8.33E-06	1.53E-04	1.28E-04	1.37E-04	2.40E-05	**2.50E-02**
	(FE-ER)/ER	*-82%*	*-75%*	*-90%*	*-91%*	*-91%*	*-89%*	*-89%*	*-88%*	*-91%*	***-80%***
Dioxyde de soufre	kg/j	8.68E-01	5.36E-01	1.28E-03	4.15E-03	7.39E-04	1.06E-02	8.89E-03	1.08E-02	2.13E-03	**1.44E+00**
	(FE-ER)/ER	*-3%*	*11%*	*-3%*	*-4%*	*-4%*	*-1%*	*-1%*	*0%*	*-4%*	***2%***
Arsenic	kg/j	3.29E-06	2.03E-06	5.00E-09	1.60E-08	3.00E-09	4.00E-08	3.40E-08	4.10E-08	8.00E-09	**5.46E-06**
	(FE-ER)/ER	*-2%*	*13%*	*0%*	*0%*	*0%*	*0%*	*0%*	*3%*	*0%*	***3%***
Nickel	kg/j	2.47E-05	1.53E-05	3.60E-08	1.18E-07	2.10E-08	3.03E-07	2.54E-07	3.07E-07	6.10E-08	**4.11E-05**
	(FE-ER)/ER	*-3%*	*10%*	*-5%*	*-5%*	*-5%*	*-2%*	*-2%*	*-1%*	*-5%*	***1%***
Chrome	kg/j	7.40E-05	4.61E-05	1.10E-07	3.50E-07	6.30E-08	9.02E-07	7.55E-07	9.27E-07	1.82E-07	**1.23E-04**
	(FE-ER)/ER	*5%*	*21%*	*6%*	*2%*	*3%*	*6%*	*6%*	*9%*	*3%*	***10%***

Source : Egis

TABLEAU 24 – BILAN DES ÉMISSIONS ROUTIÈRES AU FIL DE L'EAU – PARTIE 2 – 2033

		TRONÇONS									TOTAL
		A51	A8	VoieA	VoieC	VoieCbis	VoieD	VoieE	VoieF	VoieG	
Benzo(a)pyrène		1.80E-04	8.88E-05	3.05E-07	6.86E-07	1.47E-07	2.01E-06	1.68E-06	2.45E-06	4.25E-07	**2.76E-04**
	(FE-ER)/ER	*-25%*	*-12%*	*-22%*	*-22%*	*-21%*	*-19%*	*-19%*	*-19%*	*-21%*	***-21%***
Benzo(a)anthracène	kg/j	3.14E-04	1.56E-04	5.14E-07	1.16E-06	2.48E-07	3.40E-06	2.85E-06	4.17E-06	7.15E-07	**4.84E-04**
	(FE-ER)/ER	*-25%*	*-12%*	*-23%*	*-23%*	*-23%*	*-20%*	*-20%*	*-20%*	*-23%*	***-21%***
Benzo(b)fluoranthène	kg/j	2.76E-04	1.42E-04	3.76E-07	8.45E-07	1.81E-07	2.60E-06	2.18E-06	3.19E-06	5.24E-07	**4.28E-04**
	(FE-ER)/ER	*-16%*	*-1%*	*-17%*	*-17%*	*-17%*	*-13%*	*-13%*	*-13%*	*-17%*	***-12%***
Benzo(k)fluoranthène	kg/j	2.28E-04	1.20E-04	2.78E-07	6.25E-07	1.34E-07	1.99E-06	1.66E-06	2.43E-06	3.87E-07	**3.56E-04**
	(FE-ER)/ER	*-19%*	*-3%*	*-23%*	*-23%*	*-23%*	*-18%*	*-18%*	*-18%*	*-23%*	***-14%***
Benzo(ghi)pérylène	kg/j	3.99E-04	1.95E-04	6.97E-07	1.57E-06	3.36E-07	4.54E-06	3.80E-06	5.56E-06	9.70E-07	**6.12E-04**
	(FE-ER)/ER	*-14%*	*1%*	*-9%*	*-9%*	*-9%*	*-7%*	*-7%*	*-7%*	*-9%*	***-9%***
Benzo(j)fluoranthène	kg/j	2.97E-04	1.64E-04	2.37E-07	5.34E-07	1.15E-07	1.93E-06	1.62E-06	2.37E-06	3.31E-07	**4.68E-04**
	(FE-ER)/ER	*41%*	*59%*	*130%*	*130%*	*130%*	*95%*	*95%*	*95%*	*130%*	***48%***
Acénaphtène	kg/j	2.59E-03	1.26E-03	4.64E-06	1.04E-05	2.24E-06	3.01E-05	2.52E-05	3.68E-05	6.46E-06	**3.96E-03**
	(FE-ER)/ER	*-39%*	*-29%*	*-35%*	*-35%*	*-35%*	*-33%*	*-33%*	*-33%*	*-35%*	***-36%***
Acénaphtylène	kg/j	1.93E-03	9.40E-04	3.47E-06	7.81E-06	1.68E-06	2.25E-05	1.88E-05	2.76E-05	4.83E-06	**2.96E-03**
	(FE-ER)/ER	*-39%*	*-29%*	*-35%*	*-35%*	*-35%*	*-33%*	*-33%*	*-33%*	*-35%*	***-36%***
Anthracène	kg/j	5.94E-04	3.02E-04	8.62E-07	1.94E-06	4.16E-07	5.85E-06	4.90E-06	7.16E-06	1.20E-06	**9.18E-04**
	(FE-ER)/ER	*33%*	*54%*	*45%*	*45%*	*45%*	*46%*	*46%*	*46%*	*45%*	***40%***
Chrysène	kg/j	6.52E-04	3.42E-04	8.19E-07	1.84E-06	3.95E-07	5.80E-06	4.85E-06	7.10E-06	1.14E-06	**1.02E-03**
	(FE-ER)/ER	*-24%*	*-9%*	*-27%*	*-27%*	*-27%*	*-23%*	*-23%*	*-23%*	*-27%*	***-19%***
Dibenzo(a,h)anthracène	kg/j	3.71E-05	1.85E-05	5.90E-08	1.34E-07	2.90E-08	3.96E-07	3.31E-07	4.84E-07	8.30E-08	**5.72E-05**
	(FE-ER)/ER	*-33%*	*-20%*	*-31%*	*-31%*	*-29%*	*-29%*	*-29%*	*-29%*	*-31%*	***-29%***
Fluorène	kg/j	5.70E-04	3.38E-04	1.45E-07	3.26E-07	7.00E-08	2.15E-06	1.80E-06	2.63E-06	2.02E-07	**9.15E-04**
	(FE-ER)/ER	*5%*	*23%*	*0%*	*0%*	*0%*	*10%*	*10%*	*10%*	*0%*	***11%***
Fluoranthène	kg/j	3.17E-03	1.57E-03	5.19E-06	1.17E-05	2.50E-06	3.43E-05	2.87E-05	4.20E-05	7.22E-06	**4.87E-03**
	(FE-ER)/ER	*-18%*	*-4%*	*-15%*	*-15%*	*-15%*	*-13%*	*-13%*	*-13%*	*-15%*	***-14%***
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	kg/j	2.00E-04	9.93E-05	3.29E-07	7.40E-07	1.59E-07	2.18E-06	1.82E-06	2.66E-06	4.58E-07	**3.08E-04**
	(FE-ER)/ER	*-15%*	*0%*	*-12%*	*-12%*	*-12%*	*-9%*	*-9%*	*-9%*	*-12%*	***-10%***
Phénanthrène	kg/j	6.79E-03	3.33E-03	1.15E-05	2.59E-05	5.57E-06	7.55E-05	6.32E-05	9.24E-05	1.61E-05	**1.04E-02**
	(FE-ER)/ER	*-9%*	*6%*	*-5%*	*-5%*	*-5%*	*-3%*	*-3%*	*-3%*	*-5%*	***-5%***
Pyrène	kg/j	2.67E-03	1.34E-03	4.10E-06	9.21E-06	1.98E-06	2.75E-05	2.30E-05	3.37E-05	5.70E-06	**4.12E-03**
	(FE-ER)/ER	*-27%*	*-14%*	*-26%*	*-26%*	*-26%*	*-23%*	*-23%*	*-23%*	*-26%*	***-23%***

Source : Egis

3.2.1.2 - Analyse comparative des bilans des émissions à l'horizon de mise en service

Le bilan des émissions routières à l'horizon 2033 pour l'***État projeté 2033*** (EP), à savoir la situation avec la réalisation du projet est présenté dans le Tableau 25. Dans ce tableau, les pourcentages correspondent aux écarts relatifs entre l'***État projeté*** et le ***Fil de l'eau*** (noté *(EP-FE)/FE*). Le détail des émissions est présenté sur les Tableau 26, Tableau 27 et Tableau 28.

L'analyse comparative des émissions polluantes à l'horizon 2033 met en évidence une augmentation des émissions quel que soit le polluant considéré. Les augmentations des émissions entre le ***Fil de l'eau*** et l'***État projeté*** sont en moyenne de l'ordre de 4 %. Elles sont principalement liées à la réalisation du projet de la ZAC de la Constance. En effet, la totalité des émissions des autoroutes n'évolue pas (0 %) entre le ***Fil de l'eau*** et l'***État projeté***. Les évolutions sont cohérentes avec le kilométrage parcouru qui augmente globalement de 6%. Néanmoins, ces évolutions cachent quelques disparités entre les différents tronçons routiers de la ZAC en cohérence avec les variations du kilométrage parcouru. À noter que l'acénaphtène et l'acénaphtylène ne sont émis que par les véhicules légers, ainsi les voies réservées aux bus (voie E et voie I Bus) n'émettent pas ces polluants.

Le projet de la ZAC de la Constance a donc un impact sur les émissions routières en polluants. En effet, l'augmentation du kilométrage parcouru sur la zone entraîne une augmentation des émissions en polluants de 6 %. Néanmoins, il est important de noter que les autoroutes A51 et A8 sont responsables d'environ 90 % des émissions en polluants et le projet n'a aucun impact sur les autoroutes A51 et A8. Donc le projet est responsable d'une légère augmentation des émissions en polluants mais l'autoroute est la principale source de pollution de la zone d'étude.

Les diagrammes de la Figure 25 montrent l'évolution des émissions totales, polluant par polluant, pour ***l'État de référence***, le ***Fil de l'eau*** et l'***État projeté***.

TABLEAU 25 – BILAN DES ÉMISSIONS ROUTIÈRES À L'ÉTAT PROJETÉ – 2033

		TOTAL
Dioxyde d'azote	kg/j	3.02E+01
	(EP-FE)/FE	*5%*
PM_{10}	kg/j	7.99E+00
	(EP-FE)/FE	*7%*
$PM_{2,5}$	kg/j	4.89E+00
	(EP-FE)/FE	*7%*
Monoxyde de carbone	kg/j	7.09E+01
	(EP-FE)/FE	*3%*
COVNM	kg/j	1.43E+00
	(EP-FE)/FE	*5%*
Benzène	kg/j	4.32E-02
	(EP-FE)/FE	*6%*
1,3-butadiène	kg/j	2.61E-02
	(EP-FE)/FE	*5%*
Dioxyde de soufre	kg/j	1.52E+00
	(EP-FE)/FE	*5%*
Arsenic	kg/j	5.75E-06
	(EP-FE)/FE	*5%*
Nickel	kg/j	4.33E-05
	(EP-FE)/FE	*5%*
Chrome	kg/j	1.30E-04
	(EP-FE)/FE	*5%*
Benzo(a)pyrène	kg/j	2.93E-04
	(EP-FE)/FE	*6%*
Benzo(a)anthracène	kg/j	5.12E-04
	(EP-FE)/FE	*6%*
Benzo(b)fluoranthène	kg/j	4.49E-04
	(EP-FE)/FE	*5%*
Benzo(k)fluoranthène	kg/j	3.73E-04
	(EP-FE)/FE	*5%*
Benzo(ghi)pérylène	kg/j	6.48E-04
	(EP-FE)/FE	*6%*
Benzo(j)fluoranthène	kg/j	4.85E-04
	(EP-FE)/FE	*4%*
Acénaphtène	kg/j	4.20E-03
	(EP-FE)/FE	*6%*
Acénaphtylène	kg/j	3.14E-03
	(EP-FE)/FE	*6%*
Anthracène	kg/j	9.67E-04
	(EP-FE)/FE	*5%*
Chrysène	kg/j	1.07E-03
	(EP-FE)/FE	*5%*
Dibenzo(a,h)anthracène	kg/j	3.37E-05
	(EP-FE)/FE	*-41%*
Fluorène	kg/j	9.39E-04
	(EP-FE)/FE	*3%*
Fluoranthène	kg/j	5.15E-03
	(EP-FE)/FE	*6%*
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	kg/j	3.25E-04
	(EP-FE)/FE	*6%*
Phénanthrène	kg/j	1.10E-02
	(EP-FE)/FE	*6%*
Pyrène	kg/j	4.34E-03
	(EP-FE)/FE	*5%*

Source : Egis

TABLEAU 26 – BILAN DES ÉMISSIONS ROUTIÈRES À L'ÉTAT PROJETÉ –PARTIE 1 – 2033

		TRONÇONS									
		A51	A8	VoieA	VoieB	VoieC	VoieCbis	VoieD	VoieE	VoieF	VoieG
Dioxyde d'azote	kg/j	1.45E+01	1.37E+01	6.34E-02	1.55E-02	0.00E+00	1.99E-02	9.09E-02	2.12E-03	1.69E-01	7.47E-02
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*157%*	*100%*	*-100%*	*41%*	*-53%*	*-99%*	*-14%*	*83%*
PM_{10}	kg/j	4.64E+00	2.48E+00	2.50E-02	9.43E-03	0.00E+00	9.40E-03	4.29E-02	4.86E-03	6.66E-02	3.53E-02
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*170%*	*100%*	*-100%*	*47%*	*-53%*	*-94%*	*-14%*	*91%*
$PM_{2,5}$	kg/j	2.82E+00	1.55E+00	1.50E-02	5.58E-03	0.00E+00	5.61E-03	2.56E-02	2.87E-03	3.99E-02	2.11E-02
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*170%*	*100%*	*-100%*	*47%*	*-53%*	*-94%*	*-14%*	*91%*
Monoxyde de carbone	kg/j	2.41E+01	4.33E+01	1.10E-01	2.79E-02	0.00E+00	3.56E-02	1.63E-01	8.19E-03	2.93E-01	1.34E-01
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*161%*	*100%*	*-100%*	*43%*	*-53%*	*-97%*	*-14%*	*85%*
COVNM	kg/j	6.94E-01	6.25E-01	3.17E-03	9.01E-04	0.00E+00	1.09E-03	4.99E-03	1.24E-03	8.41E-03	4.11E-03
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*186%*	*100%*	*-100%*	*58%*	*-53%*	*-86%*	*-14%*	*105%*
Benzène	kg/j	1.70E-02	2.26E-02	1.14E-04	2.96E-05	0.00E+00	3.80E-05	1.73E-04	1.24E-06	3.04E-04	1.42E-04
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*156%*	*100%*	*-100%*	*40%*	*-53%*	*-100%*	*-14%*	*81%*
1,3-butadiène	kg/j	1.42E-02	1.03E-02	4.42E-05	1.37E-05	0.00E+00	1.58E-05	7.22E-05	4.09E-05	1.17E-04	5.95E-05
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*242%*	*100%*	*-100%*	*90%*	*-53%*	*-68%*	*-14%*	*148%*
Dioxyde de soufre	kg/j	8.68E-01	5.36E-01	3.47E-03	8.99E-04	0.00E+00	1.10E-03	5.02E-03	6.91E-04	9.24E-03	4.13E-03
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*172%*	*100%*	*-100%*	*49%*	*-53%*	*-92%*	*-14%*	*94%*
Arsenic	kg/j	3.29E-06	2.03E-06	1.30E-08	3.00E-09	0.00E+00	4.00E-09	1.90E-08	3.00E-09	3.50E-08	1.60E-08
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*160%*	*100%*	*-100%*	*33%*	*-53%*	*-91%*	*-15%*	*100%*
Nickel	kg/j	2.47E-05	1.53E-05	9.90E-08	2.60E-08	0.00E+00	3.10E-08	1.43E-07	2.00E-08	2.63E-07	1.18E-07
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*175%*	*100%*	*-100%*	*48%*	*-53%*	*-92%*	*-14%*	*93%*
Chrome	kg/j	7.40E-05	4.61E-05	2.98E-07	7.60E-08	0.00E+00	9.30E-08	4.26E-07	5.40E-08	7.93E-07	3.50E-07
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*171%*	*100%*	*-100%*	*48%*	*-53%*	*-93%*	*-14%*	*92%*

Source : Egis

TABLEAU 27 – BILAN DES ÉMISSIONS ROUTIÈRES À L'ÉTAT PROJETÉ –PARTIE 2 – 2033

		TRONÇONS									
		A51	A8	VoieA	VoieB	VoieC	VoieCbis	VoieD	VoieE	VoieF	VoieG
Benzo(a)pyrène	kg/j	1.80E-04	8.88E-05	7.90E-07	1.40E-07	0.00E+00	2.07E-07	9.47E-07	2.70E-08	2.10E-06	7.78E-07
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*159%*	*100%*	*-100%*	*41%*	*-53%*	*-98%*	*-14%*	*83%*
Benzo(a)anthracène	kg/j	3.14E-04	1.56E-04	1.34E-06	2.38E-07	0.00E+00	3.52E-07	1.61E-06	7.10E-08	3.57E-06	1.32E-06
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*161%*	*100%*	*-100%*	*42%*	*-53%*	*-98%*	*-14%*	*85%*
Benzo(b)fluoranthène	kg/j	2.76E-04	1.42E-04	1.03E-06	1.82E-07	0.00E+00	2.69E-07	1.23E-06	1.63E-07	2.73E-06	1.01E-06
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*173%*	*100%*	*-100%*	*49%*	*-53%*	*-93%*	*-14%*	*93%*
Benzo(k)fluoranthène	kg/j	2.28E-04	1.20E-04	7.83E-07	1.39E-07	0.00E+00	2.05E-07	9.38E-07	1.82E-07	2.08E-06	7.71E-07
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*182%*	*100%*	*-100%*	*53%*	*-53%*	*-89%*	*-14%*	*99%*
Benzo(ghi)pérylène	kg/j	3.99E-04	1.95E-04	1.79E-06	3.18E-07	0.00E+00	4.70E-07	2.15E-06	2.30E-08	4.76E-06	1.76E-06
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*157%*	*100%*	*-100%*	*40%*	*-53%*	*-99%*	*-14%*	*82%*
Benzo(j)fluoranthène	kg/j	2.97E-04	1.64E-04	7.62E-07	1.36E-07	0.00E+00	2.00E-07	9.12E-07	3.90E-07	2.02E-06	7.51E-07
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*222%*	*100%*	*-100%*	*74%*	*-53%*	*-76%*	*-14%*	*127%*
Acénaphtène	kg/j	2.59E-03	1.26E-03	1.19E-05	2.11E-06	0.00E+00	3.11E-06	1.42E-05	0.00E+00	3.15E-05	1.17E-05
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*155%*	*100%*	*-100%*	*39%*	*-53%*	*-100%*	*-14%*	*81%*
Acénaphtylène	kg/j	1.93E-03	9.40E-04	8.87E-06	1.58E-06	0.00E+00	2.33E-06	1.06E-05	0.00E+00	2.36E-05	8.74E-06
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*155%*	*100%*	*-100%*	*39%*	*-53%*	*-100%*	*-14%*	*81%*
Anthracène	kg/j	5.94E-04	3.02E-04	2.31E-06	4.10E-07	0.00E+00	6.05E-07	2.76E-06	2.58E-07	6.13E-06	2.27E-06
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*167%*	*100%*	*-100%*	*45%*	*-53%*	*-95%*	*-14%*	*89%*
Chrysène	kg/j	6.52E-04	3.42E-04	2.28E-06	4.06E-07	0.00E+00	6.00E-07	2.74E-06	4.85E-07	6.07E-06	2.25E-06
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*179%*	*100%*	*-100%*	*52%*	*-53%*	*-90%*	*-14%*	*97%*
Dibenzo(a,h)anthracène	kg/j	2.07E-05	1.01E-05	9.40E-08	1.70E-08	0.00E+00	2.50E-08	1.13E-07	0.00E+00	2.51E-07	9.30E-08
	(EP-FE)/FE	*-44%*	*-46%*	*59%*	*100%*	*-100%*	*-14%*	*-71%*	*-100%*	*-48%*	*12%*
Fluorène	kg/j	5.70E-04	3.38E-04	8.47E-07	1.51E-07	0.00E+00	2.22E-07	1.01E-06	1.19E-06	2.24E-06	8.35E-07
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*484%*	*100%*	*-100%*	*217%*	*-53%*	*-34%*	*-15%*	*313%*
Fluoranthène	kg/j	3.17E-03	1.57E-03	1.35E-05	2.40E-06	0.00E+00	3.55E-06	1.62E-05	6.39E-07	3.59E-05	1.33E-05
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*160%*	*100%*	*-100%*	*42%*	*-53%*	*-98%*	*-14%*	*84%*
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	kg/j	2.00E-04	9.93E-05	8.57E-07	1.52E-07	0.00E+00	2.25E-07	1.03E-06	4.20E-08	2.28E-06	8.45E-07
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*160%*	*100%*	*-100%*	*42%*	*-53%*	*-98%*	*-14%*	*84%*
Phénanthrène	kg/j	6.79E-03	3.33E-03	2.98E-05	5.29E-06	0.00E+00	7.81E-06	3.57E-05	6.87E-07	7.91E-05	2.93E-05
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*158%*	*100%*	*-100%*	*40%*	*-53%*	*-99%*	*-14%*	*82%*
Pyrène	kg/j	2.67E-03	1.34E-03	1.08E-05	1.93E-06	0.00E+00	2.85E-06	1.30E-05	9.43E-07	2.88E-05	1.07E-05
	(EP-FE)/FE	*0%*	*0%*	*165%*	*100%*	*-100%*	*44%*	*-53%*	*-96%*	*-14%*	*87%*

Source : Egis

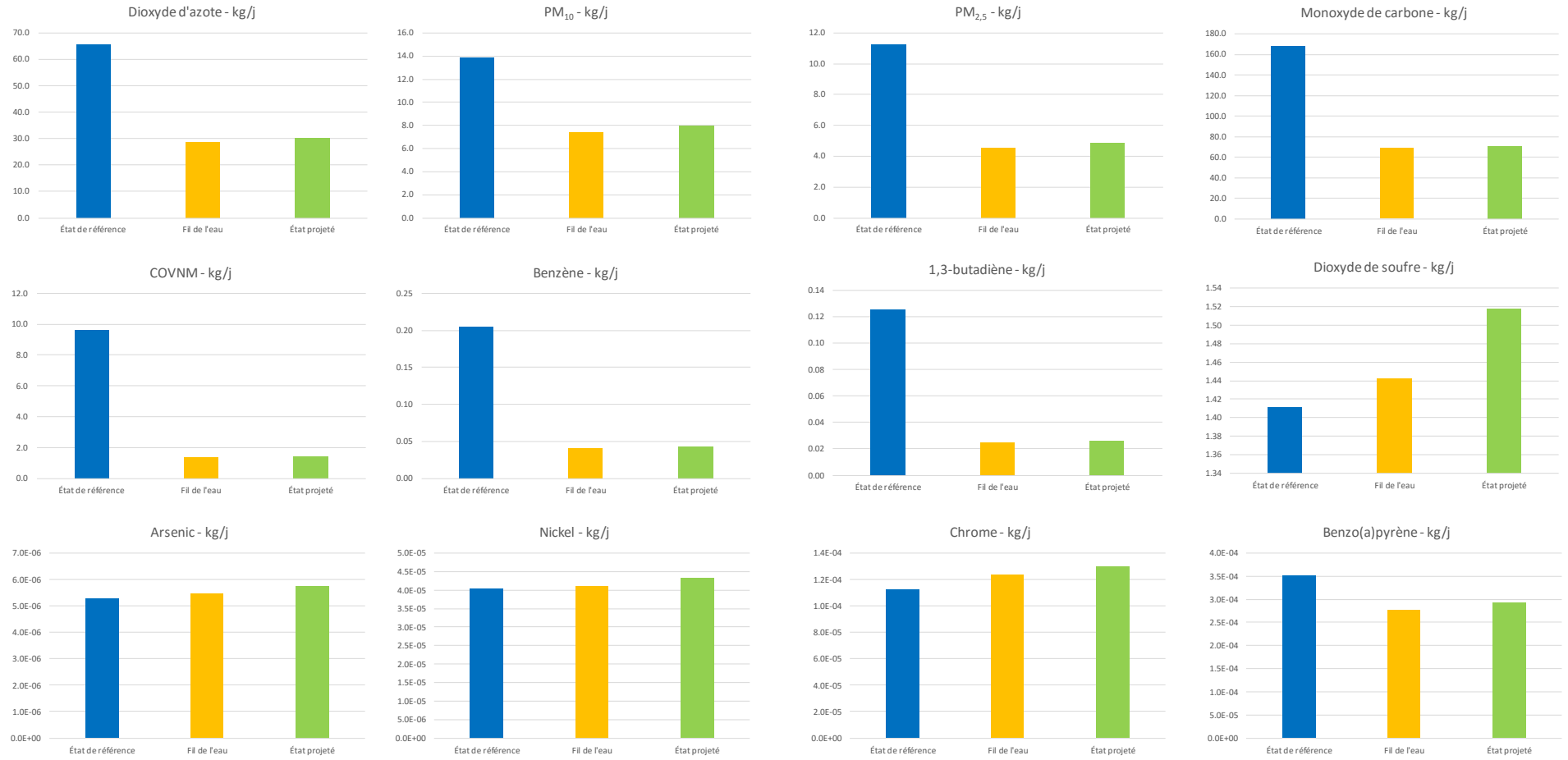
TABLEAU 28 – BILAN DES ÉMISSIONS ROUTIÈRES À L'ÉTAT PROJETÉ –PARTIE 3 – 2033

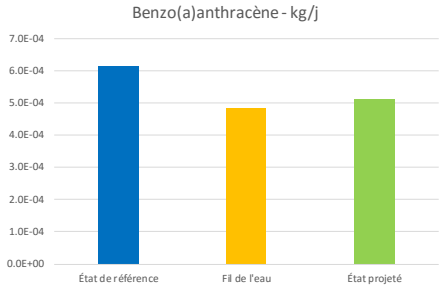
		TRONÇONS									
		VoieH	VoieI_Bus	VoieJ	VoieK	VoieL	VoieM	VoieN	VoieO	VoieP	VoieQ
Dioxyde d'azote	kg/j	1.51E-01	7.94E-03	2.41E-01	1.03E-01	6.61E-02	1.13E-01	2.38E-02	2.62E-01	5.07E-01	1.23E-01
PM_{10}	kg/j	5.95E-02	1.82E-02	9.50E-02	4.87E-02	3.12E-02	4.46E-02	1.12E-02	1.24E-01	2.00E-01	4.87E-02
$PM_{2,5}$	kg/j	3.57E-02	1.07E-02	5.70E-02	2.91E-02	1.86E-02	2.67E-02	6.70E-03	7.38E-02	1.20E-01	2.92E-02
Monoxyde de carbone	kg/j	2.62E-01	3.07E-02	4.18E-01	1.84E-01	1.18E-01	1.96E-01	4.25E-02	4.68E-01	8.80E-01	2.14E-01
COVNM	kg/j	7.53E-03	4.64E-03	1.20E-02	5.67E-03	3.64E-03	5.63E-03	1.30E-03	1.44E-02	2.53E-02	6.16E-03
Benzène	kg/j	2.72E-04	4.64E-06	4.34E-04	1.96E-04	1.26E-04	2.04E-04	4.53E-05	4.99E-04	9.13E-04	2.22E-04
1,3-butadiène	kg/j	1.05E-04	1.53E-04	1.68E-04	8.22E-05	5.27E-05	7.86E-05	1.88E-05	2.09E-04	3.53E-04	8.60E-05
Dioxyde de soufre	kg/j	8.26E-03	2.59E-03	1.32E-02	5.69E-03	3.65E-03	6.18E-03	1.31E-03	1.45E-02	2.78E-02	6.76E-03
Arsenic	kg/j	3.10E-08	1.00E-08	5.00E-08	2.20E-08	1.40E-08	2.30E-08	5.00E-09	5.50E-08	1.05E-07	2.60E-08
Nickel	kg/j	2.35E-07	7.40E-08	3.76E-07	1.62E-07	1.04E-07	1.76E-07	3.70E-08	4.13E-07	7.91E-07	1.93E-07
Chrome	kg/j	7.10E-07	2.04E-07	1.13E-06	4.83E-07	3.10E-07	5.31E-07	1.11E-07	1.23E-06	2.38E-06	5.80E-07
Benzo(a)pyrène	kg/j	1.88E-06	1.01E-07	3.00E-06	1.07E-06	6.89E-07	1.41E-06	2.48E-07	2.73E-06	6.31E-06	1.54E-06
Benzo(a)anthracène	kg/j	3.19E-06	2.67E-07	5.09E-06	1.82E-06	1.17E-06	2.39E-06	4.20E-07	4.63E-06	1.07E-05	2.61E-06
Benzo(b)fluoranthène	kg/j	2.44E-06	6.09E-07	3.89E-06	1.40E-06	8.95E-07	1.83E-06	3.21E-07	3.54E-06	8.19E-06	2.00E-06
Benzo(k)fluoranthène	kg/j	1.86E-06	6.81E-07	2.97E-06	1.07E-06	6.83E-07	1.39E-06	2.45E-07	2.71E-06	6.25E-06	1.52E-06
Benzo(ghi)pérylène	kg/j	4.26E-06	8.60E-08	6.79E-06	2.43E-06	1.56E-06	3.18E-06	5.61E-07	6.18E-06	1.43E-05	3.48E-06
Benzo(j)fluoranthène	kg/j	1.81E-06	1.46E-06	2.89E-06	1.04E-06	6.65E-07	1.36E-06	2.38E-07	2.63E-06	6.09E-06	1.48E-06
Acénaphtène	kg/j	2.82E-05	0.00E+00	4.50E-05	1.61E-05	1.03E-05	2.11E-05	3.72E-06	4.10E-05	9.47E-05	2.31E-05
Acénaphtylène	kg/j	2.11E-05	0.00E+00	3.37E-05	1.21E-05	7.74E-06	1.58E-05	2.78E-06	3.06E-05	7.09E-05	1.73E-05
Anthracène	kg/j	5.48E-06	9.67E-07	8.75E-06	3.14E-06	2.01E-06	4.10E-06	7.22E-07	7.96E-06	1.84E-05	4.48E-06
Chrysène	kg/j	5.43E-06	1.82E-06	8.67E-06	3.11E-06	1.99E-06	4.07E-06	7.15E-07	7.89E-06	1.82E-05	4.44E-06
Dibenzo(a,h)anthracène	kg/j	2.24E-07	0.00E+00	3.58E-07	1.28E-07	8.20E-08	1.68E-07	3.00E-08	3.26E-07	7.53E-07	1.83E-07
Fluorène	kg/j	2.01E-06	4.47E-06	3.21E-06	1.15E-06	7.39E-07	1.50E-06	2.61E-07	2.93E-06	6.77E-06	1.65E-06
Fluoranthène	kg/j	3.21E-05	2.39E-06	5.13E-05	1.84E-05	1.18E-05	2.40E-05	4.24E-06	4.67E-05	1.08E-04	2.63E-05
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	kg/j	2.04E-06	1.57E-07	3.26E-06	1.17E-06	7.48E-07	1.53E-06	2.69E-07	2.96E-06	6.85E-06	1.67E-06
Phénanthrène	kg/j	7.08E-05	2.57E-06	1.13E-04	4.05E-05	2.60E-05	5.30E-05	9.33E-06	1.03E-04	2.38E-04	5.79E-05
Pyrène	kg/j	2.58E-05	3.53E-06	4.11E-05	1.47E-05	9.46E-06	1.93E-05	3.40E-06	3.75E-05	8.66E-05	2.11E-05

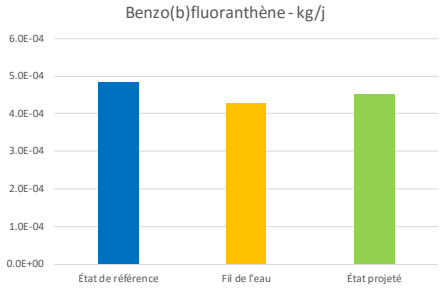
Source : Egis

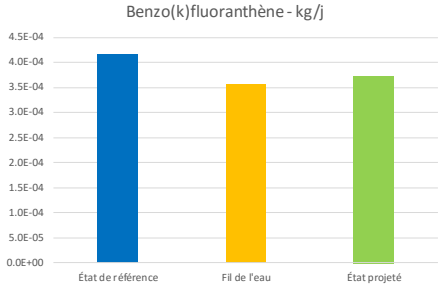
FIGURE 25 – ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS TOTALES PAR POLLUANT ET PAR HORIZON

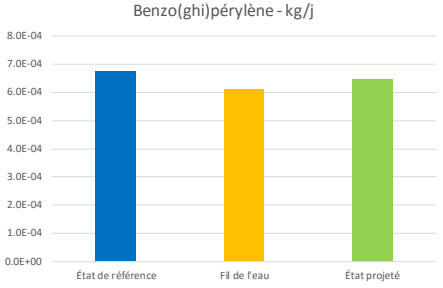
Source : Egis

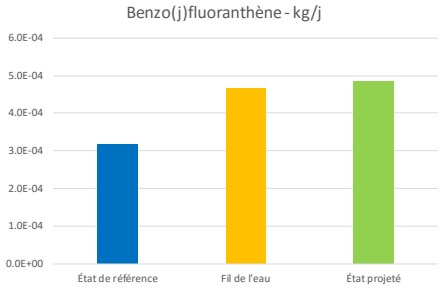


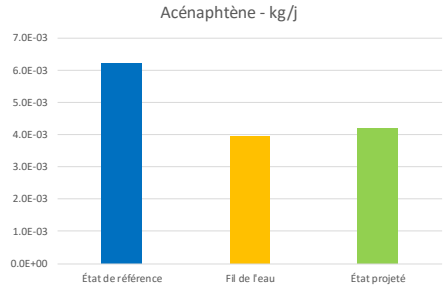

Benzo(a)anthracène - kg/j
7.0E-04
6.0E-04
5.0E-04
4.0E-04
3.0E-04
2.0E-04
1.0E-04
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

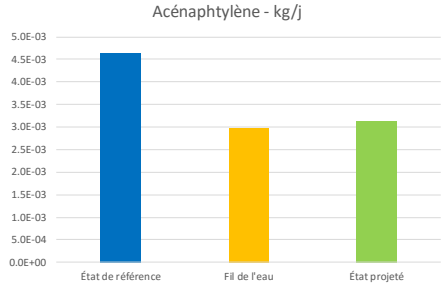

Benzo(b)fluoranthène - kg/j
6.0E-04
5.0E-04
4.0E-04
3.0E-04
2.0E-04
1.0E-04
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

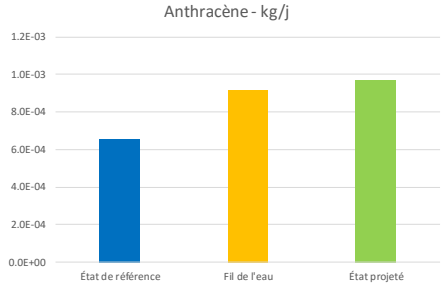

Benzo(k)fluoranthène - kg/j
4.5E-04
4.0E-04
3.5E-04
3.0E-04
2.5E-04
2.0E-04
1.5E-04
1.0E-04
5.0E-05
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

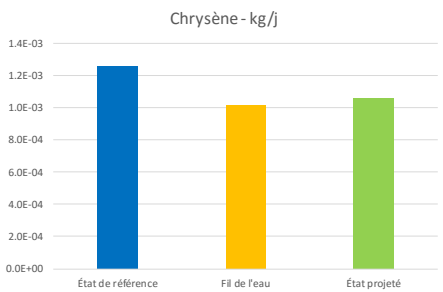

Benzo(ghi)pérylène - kg/j
8.0E-04
7.0E-04
6.0E-04
5.0E-04
4.0E-04
3.0E-04
2.0E-04
1.0E-04
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

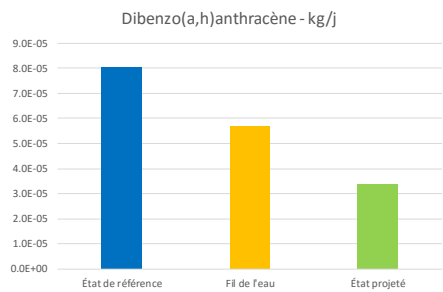

Benzo(j)fluoranthène - kg/j
6.0E-04
5.0E-04
4.0E-04
3.0E-04
2.0E-04
1.0E-04
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

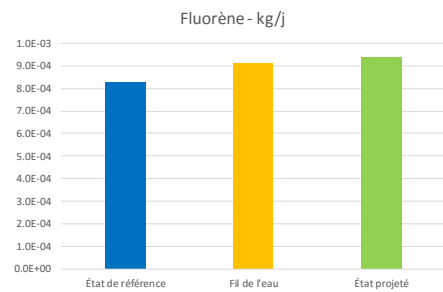

Acénaphtène - kg/j
7.0E-03
6.0E-03
5.0E-03
4.0E-03
3.0E-03
2.0E-03
1.0E-03
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

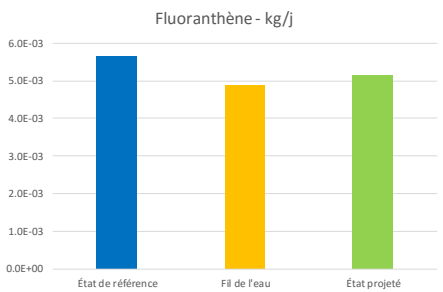

Acénaphtylène - kg/j
5.0E-03
4.5E-03
4.0E-03
3.5E-03
3.0E-03
2.5E-03
2.0E-03
1.5E-03
1.0E-03
5.0E-04
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

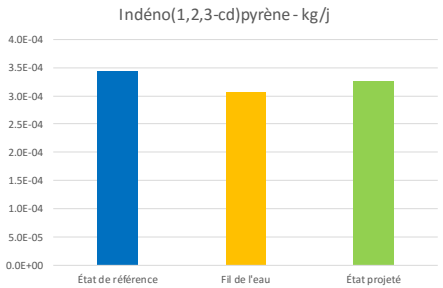

Anthracène - kg/j
1.2E-03
1.0E-03
8.0E-04
6.0E-04
4.0E-04
2.0E-04
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

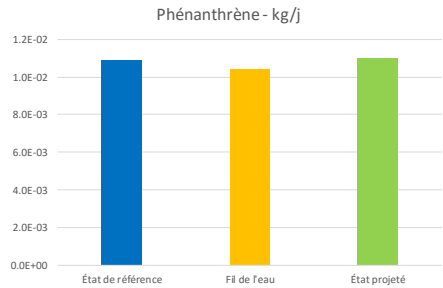

Chrysène - kg/j
1.4E-03
1.2E-03
1.0E-03
8.0E-04
6.0E-04
4.0E-04
2.0E-04
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

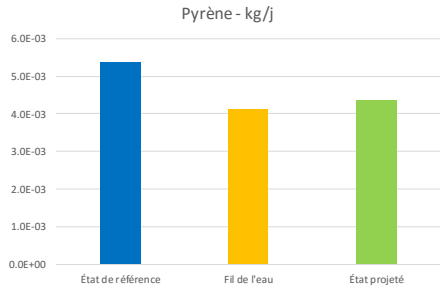

Dibenzo(a,h)anthracène - kg/j
9.0E-05
8.0E-05
7.0E-05
6.0E-05
5.0E-05
4.0E-05
3.0E-05
2.0E-05
1.0E-05
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté


Fluorène - kg/j
1.0E-03
9.0E-04
8.0E-04
7.0E-04
6.0E-04
5.0E-04
4.0E-04
3.0E-04
2.0E-04
1.0E-04
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté


Fluoranthène - kg/j
6.0E-03
5.0E-03
4.0E-03
3.0E-03
2.0E-03
1.0E-03
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté


Indéno(1,2,3-cd)pyrène - kg/j
4.0E-04
3.5E-04
3.0E-04
2.5E-04
2.0E-04
1.5E-04
1.0E-04
5.0E-05
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté


Phénanthrène - kg/j
1.2E-02
1.0E-02
8.0E-03
6.0E-03
4.0E-03
2.0E-03
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté


Pyrène - kg/j
6.0E-03
5.0E-03
4.0E-03
3.0E-03
2.0E-03
1.0E-03
0.0E+00
État de référence
Fil de l'eau
État projeté

3.2.2 - Évaluation des teneurs dans l'air ambiant

Comme décrit précédemment, la dispersion et l'évaluation des teneurs en polluant dans l'air ambiant ont été déterminées avec le logiciel ADMS Roads. Les teneurs en polluant ainsi obtenues sont exprimées sous la forme de teneurs moyennes annuelles en tout point de la zone d'étude.

Ces teneurs annuelles sont comparables aux normes de qualité de l'air en vigueur et leur comparaison aux différents horizons permet d'appréhender l'impact du projet sur la qualité de l'air.

Il convient de souligner que ces résultats mettent en évidence la contribution des émissions induites par le réseau routier étudié, à l'exclusion de toute autre source d'émissions. Néanmoins, comme précisé dans le Tableau 21, des teneurs de fond sont prises en compte pour la plupart des polluants et ainsi impacter les évolutions des teneurs en polluants.

3.2.2.1 - Cartographies des teneurs en polluant

Les cartographies des teneurs en dioxyde d'azote en tout point de la bande d'étude sont présentées de la Figure 26 à la Figure 28 pour l'***État de référence*** 2013, le ***Fil de l'eau*** 2033 et l'***État projeté*** 2033.

La Figure 29 est un zoom de la zone Nord de la ZAC le long de l'autoroute A8 à l'***État projeté*** 2033.

Ces cartographies ont été réalisées sous SIG (Système d'Information Géographique) par interpolation géostatistique des teneurs évaluées, en chaque point du maillage (10 056 points pour l'***État de référence*** et le ***Fil de l'eau*** et 15 289 points pour l'***État projeté***), à l'issue des calculs de dispersion atmosphérique.

Ces cartographies mettent en évidence :

- Les **effets significatifs**, mais néanmoins géographiquement limités, des émissions polluantes induites par le trafic routier du réseau étudié sur la qualité de l'air (entre 50 et 150 m de part et d'autre des infrastructures routières en fonction des axes et des polluants) ;
- Une **diminution significative des concentrations** à l'échelle de la zone d'étude entre l'état de référence et le fil de l'eau pour le dioxyde d'azote, du fait du renouvellement du parc automobile entre 2013 et 2033 et ce, malgré l'augmentation du kilométrage parcouru (+10 %) ;
- Une **légère augmentation des concentrations** à l'échelle de l'emprise du projet entre le fil de l'eau et l'état projeté pour le dioxyde d'azote du fait de l'apparition de nouveaux tronçons routiers et l'augmentation du kilométrage parcouru (+6%) dans la ZAC de la Constance. Néanmoins, malgré cette légère augmentation, les normes de qualité de l'air sont respectées dans la ZAC ;
- **L'impact positif** du talus et des bâtiments sur la dispersion des polluants le long de l'autoroute A8 à l'état projeté. En effet, les concentrations diminuent rapidement entre la façade côté autoroute et la façade opposée. Les concentrations respectent les normes de qualité de l'air.

FIGURE 26 – TENEURS EN DIOXYDE D'AZOTE – ÉTAT DE RÉFÉRENCE 2013

Source : Egis

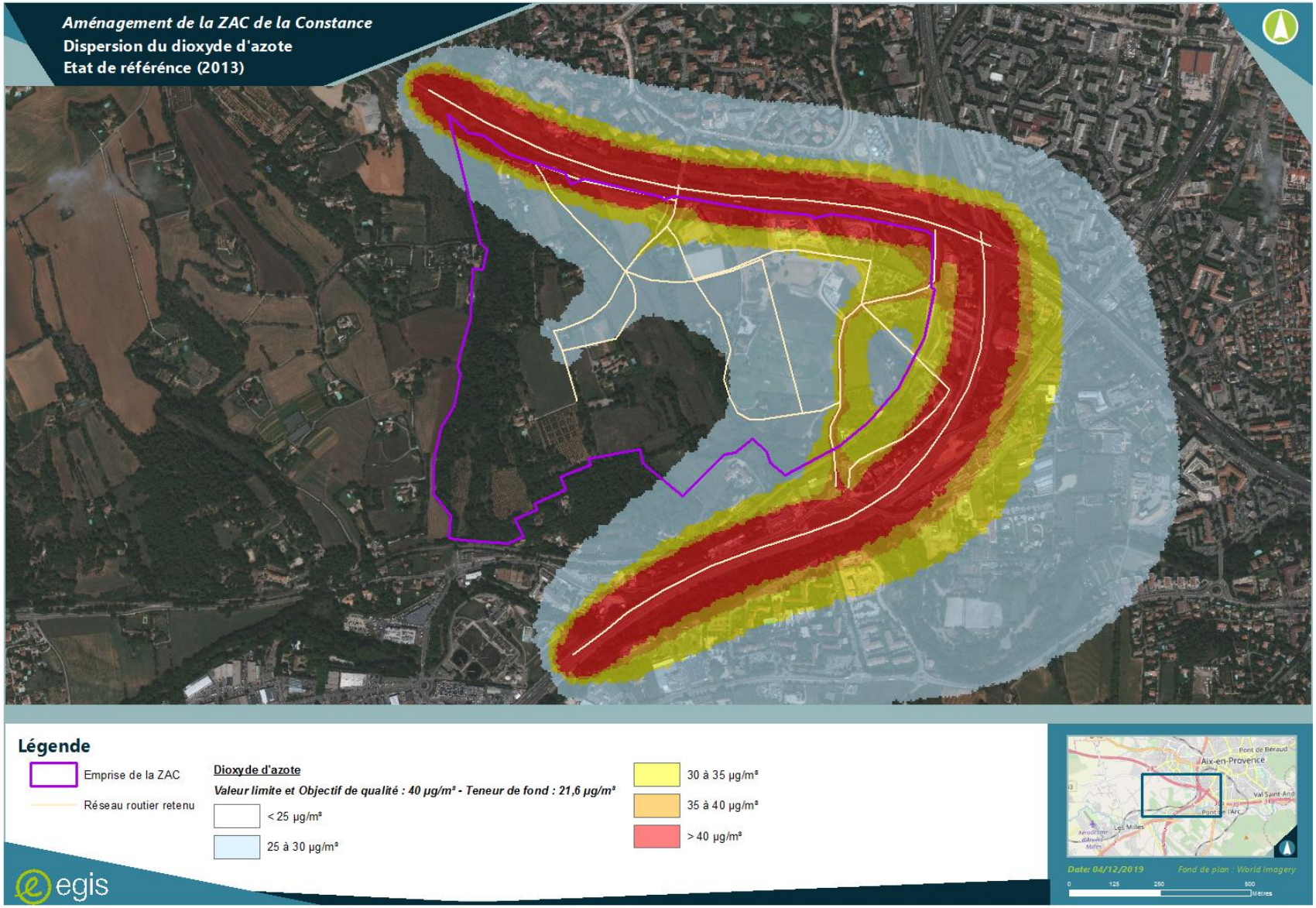


FIGURE 27 – TENEURS EN DIOXYDE D'AZOTE – FIL DE L'EAU 2033

Source : Egis

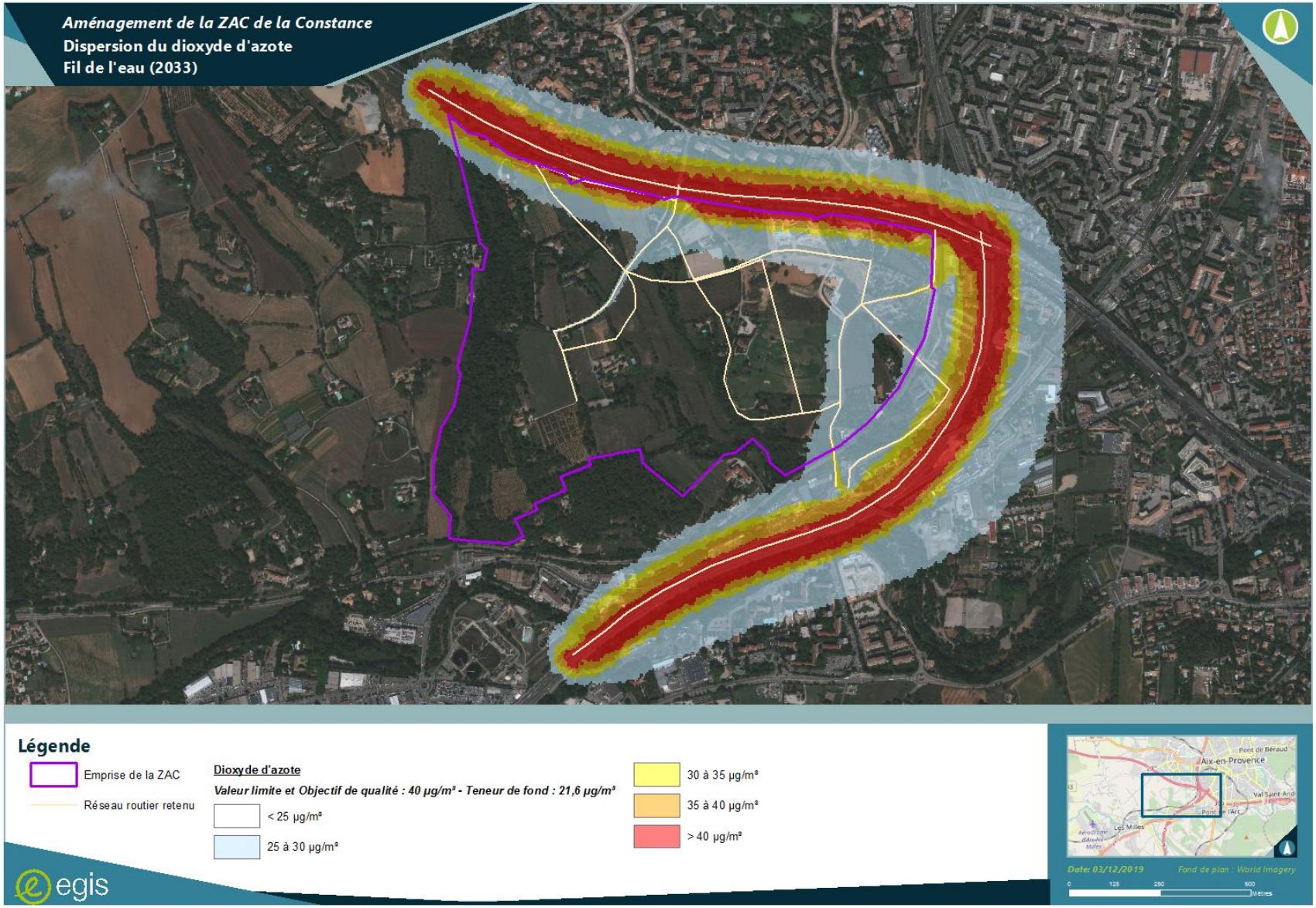


FIGURE 28 – TENEURS EN DIOXYDE D'AZOTE – ÉTAT PROJETÉ 2033

Source : Egis

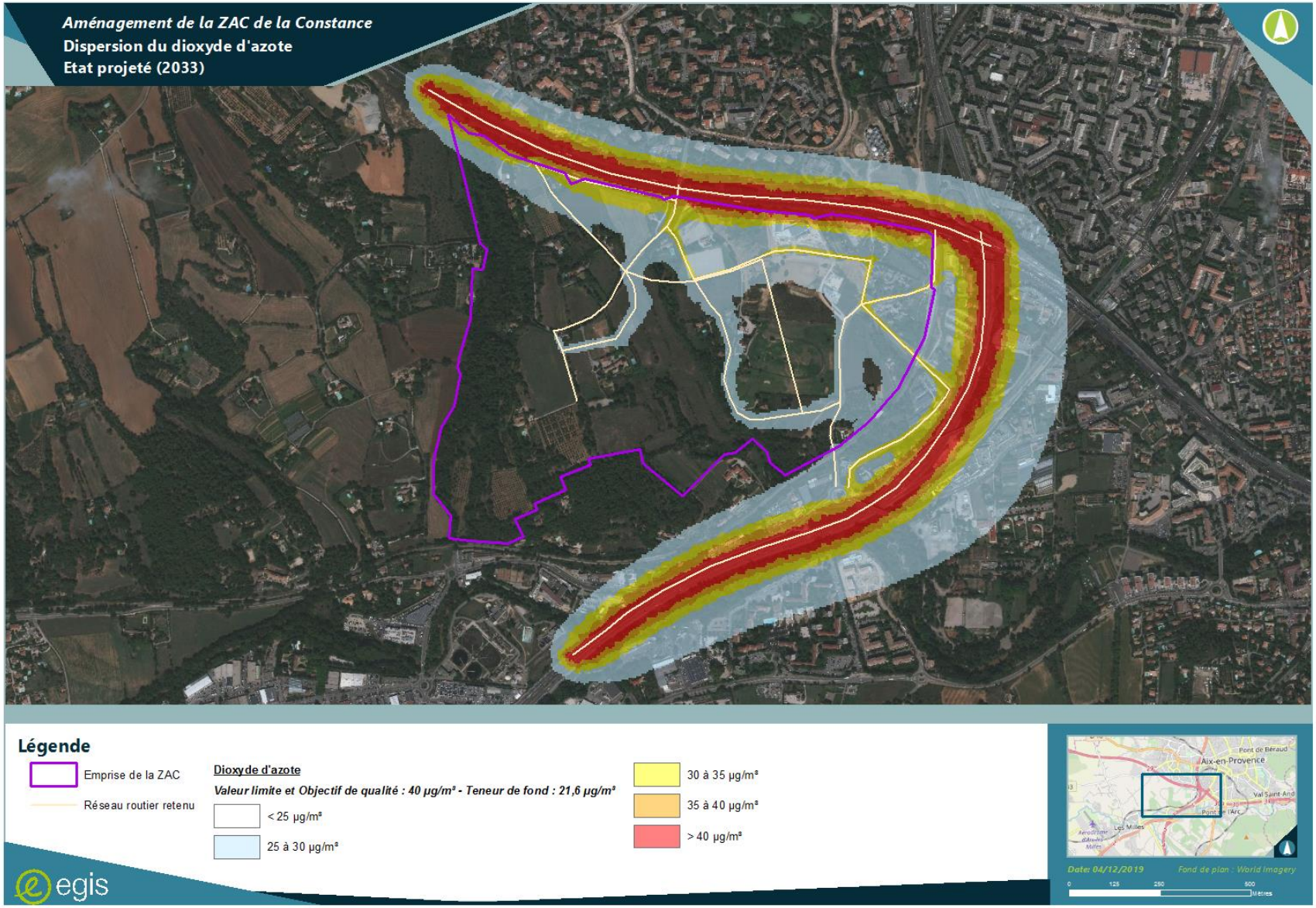
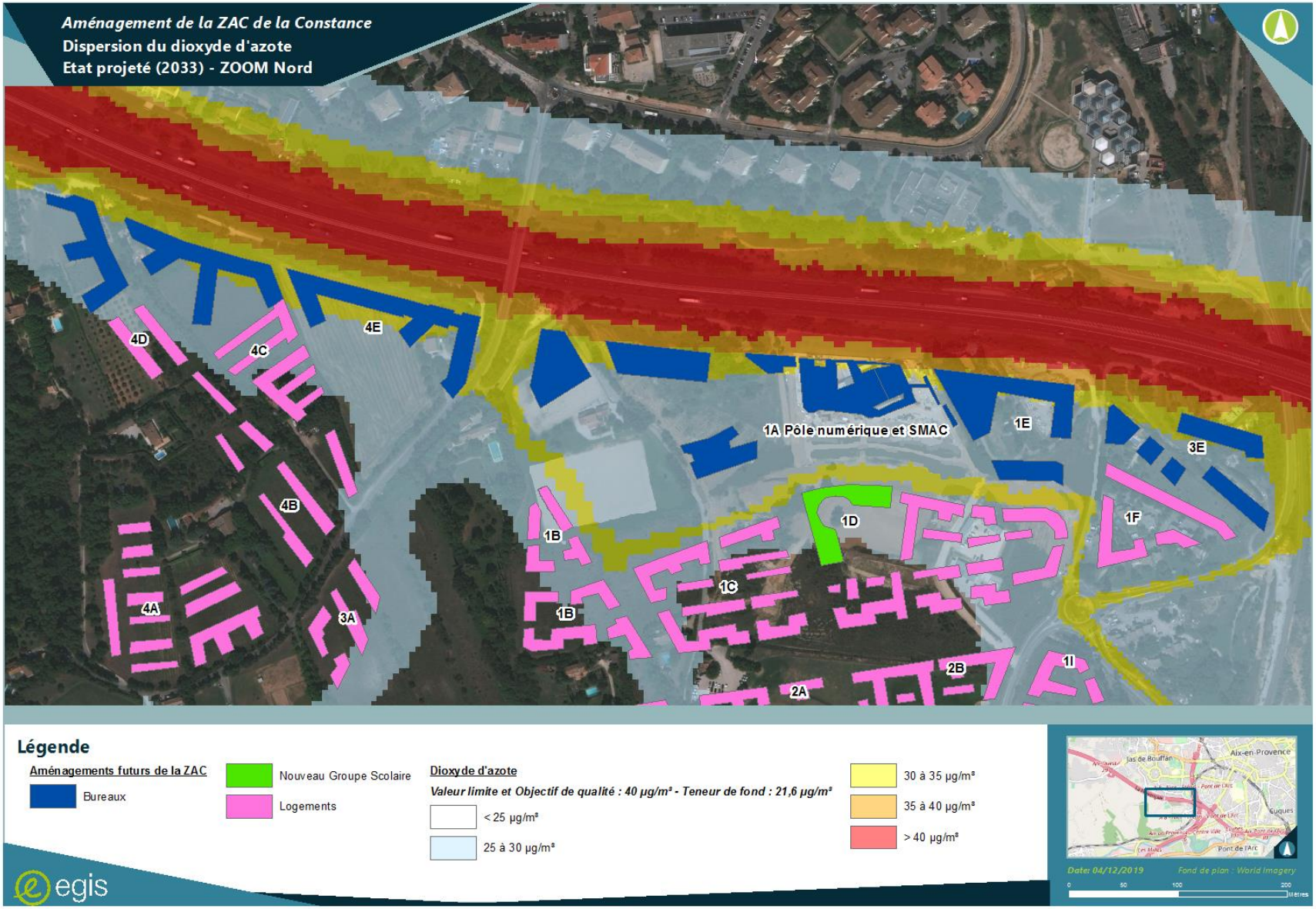


FIGURE 29 – TENEURS EN DIOXYDE D'AZOTE – ÉTAT PROJETÉ 2033 – ZOOM NORD DE LA ZAC

Source : Egis



3.2.2.2 - Teneurs en polluants dans l'emprise du projet

Les teneurs moyennes et les teneurs maximales des polluants étudiés dans l'emprise du projet sont synthétisées dans le Tableau 29 pour l'***État de référence*** 2013, le ***Fil de l'eau*** et l'***État projeté*** 2033. Les teneurs maximales sont représentatives des teneurs relevées au droit des axes routiers. Elles sont données à titre indicatif.

Les teneurs moyennes évoluent différemment suivant les polluants entre l'***État de référence*** 2013 et le ***Fil de l'eau*** 2033 :

- Diminution forte des COVNM (-61 %), du monoxyde de carbone (-86 %). À noter que ces polluants n'ont pas de teneurs de fond prises en compte ;
- Diminution faible pour le dioxyde d'azote (-8%), le 1,3-butadiène (-6%) et les particules PM10 (-2 %) et PM2.5 (-3 %) ;
- Aucune variation significative pour le benzène, le dioxyde de soufre et les métaux ;
- Augmentation ou diminution selon les HAP.

Entre le ***Fil de l'eau*** 2033 et l'***État projeté*** 2033, les teneurs moyennes présentent des évolutions différentes également suivant les polluants :

- Aucune évolution significative pour les polluants, à l'exception des COVNM et du CO (respectivement +6% et +12%) ;
- Augmentation de +16% à +26% pour les HAP.

À noter que les évolutions significatives sont répertoriées sur les polluants sans teneurs de fond.

TABLEAU 29 – TENEURS MOYENNES ET MAXIMALES DANS L'EMPRISE DU PROJET

		État de référence		Fil de l'eau		État projeté		dont teneur de fond
		Teneur moyenne	Teneur maximale	Teneur moyenne	Teneur maximale	Teneur moyenne	Teneur maximale	
Dioxyde d'azote	*µg/m³*	26.8	56.0	24.8	45.1	25.1	45.5	*21.6*
PM_{10}	*µg/m³*	14.0	18.9	13.8	16.3	13.9	16.5	*13.4*
$PM_{2,5}$	*µg/m³*	9.2	13.3	8.9	10.5	9.0	10.6	*8.67*
Monoxyde de carbone	*µg/m³*	10	99	4	49	5	50	
COVNM	*µg/m³*	0.525	3.619	0.076	0.718	0.081	0.738	
Benzène	*µg/m³*	0.692	0.763	0.682	0.706	0.683	0.707	*0.68*
1,3-butadiène	*µg/m³*	0.076	0.118	0.071	0.082	0.071	0.082	*0.07*
Dioxyde de soufre	*µg/m³*	1.361	1.859	1.365	1.920	1.384	1.942	*1.3*
Arsenic	*ng/m³*	0.3002	0.302	0.3002	0.302	0.3003	0.302	*0.3*
Nickel	*ng/m³*	2.702	2.716	2.702	2.718	2.702	2.718	*2.7*
Chrome	*ng/m³*	7.505	7.544	7.506	7.553	7.507	7.555	*7.5*
Benzo(a)pyrène	*ng/m³*	0.013	0.114	0.011	0.100	0.015	0.108	
Benzo(a)anthracène	*ng/m³*	0.023	0.201	0.019	0.176	0.026	0.190	
Benzo(b)fluoranthène	*ng/m³*	0.018	0.162	0.017	0.160	0.022	0.171	
Benzo(k)fluoranthène	*ng/m³*	0.015	0.141	0.014	0.135	0.018	0.144	
Benzo(ghi)pérylène	*ng/m³*	0.025	0.219	0.024	0.220	0.033	0.238	
Benzo(j)fluoranthène	*ng/m³*	0.011	0.116	0.018	0.183	0.022	0.194	
Acénaphtène	*ng/m³*	0.235	2.011	0.158	1.419	0.213	1.538	
Acénaphtylène	*ng/m³*	0.176	1.504	0.118	1.062	0.159	1.151	
Anthracène	*ng/m³*	0.025	0.222	0.036	0.339	0.047	0.365	
Chrysène	*ng/m³*	0.047	0.424	0.040	0.384	0.051	0.410	
Dibenzo(a,h)anthracène	*ng/m³*	0.003	0.026	0.002	0.021	0.003	0.023	
Fluorène	*ng/m³*	0.029	0.308	0.035	0.376	0.041	0.393	
Fluoranthène	*ng/m³*	0.214	1.856	0.193	1.770	0.257	1.912	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	*ng/m³*	0.013	0.113	0.012	0.112	0.016	0.121	
Phénanthrène	*ng/m³*	0.412	3.560	0.414	3.759	0.554	4.066	
Pyrène	*ng/m³*	0.201	1.767	0.163	1.513	0.215	1.630	

Source : Egis

3.2.2.3 - Comparaison aux normes de qualité de l'air

Parmi les polluants retenus dans cette étude, le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, le benzène, les particules PM10 et PM2.5, le benzo(a)pyrène, le nickel, l'arsenic et le monoxyde de carbone sont réglementés dans l'air ambiant par des critères nationaux.

En l'absence de valeur de fond pour le monoxyde de carbone, la comparaison des teneurs modélisées aux normes de qualité de l'air n'est pas possible pour ces polluants.

La comparaison des teneurs maximales en tout point de la bande d'étude aux normes de la qualité de l'air est présentée dans le Tableau 30. Notons que les teneurs maximales sont représentatives des teneurs relevées au droit des axes routiers.

Au regard des résultats obtenus, la réalisation du projet de la ZAC de la Constance n'induirait pas de dépassement des normes de la qualité de l'air en vigueur dans la zone d'étude. La concentration maximale en dioxyde d'azote ne respecte pas la valeur limite, néanmoins c'est le cas pour chaque horizon d'étude, donc la ZAC de la Constance n'est pas responsable de ce dépassement. De plus, ces dépassements de la valeur limite en NO_2 sont localisés à proximité de l'autoroute A8, dans une bande étroite de quelques mètres où aucun bâtiment de la ZAC n'est implanté à ***l'État projeté***.

TABLEAU 30 – COMPARAISON DES TENEURS MAXIMALES AUX NORMES EN VIGUEUR

Polluants		Valeurs limites	Objectif de qualité	État de référence		Fil de l'eau		État projeté	
		en moyenne annuelle		Teneurs maximales	Observations	Teneurs maximales	Observations	Teneurs maximales	Observations
Dioxyde d'azote (NO_2)	**µg/m³**	40	40	56.0	Dépassement de la valeur limite	45.1	Dépassement de la valeur limite	45.5	Dépassement de la valeur limite
Benzène (C_6H_6)	**µg/m³**	5	2	0.76	Pas de dépassement	0.71	Pas de dépassement	0.71	Pas de dépassement
PM_{10}	**µg/m³**	40	30	18.9	Pas de dépassement	16.3	Pas de dépassement	16.5	Pas de dépassement
$PM_{2,5}$	**µg/m³**	25	10	13.3	Dépassement de l'objectif de qualité Teneur de fond proche de l'objectif de qualité	10.5	Dépassement de l'objectif de qualité Teneur de fond proche de l'objectif de qualité	10.6	Dépassement de l'objectif de qualité Teneur de fond proche de l'objectif de qualité
Dioxyde de soufre (SO_2)	**µg/m³**		50	1.86	Pas de dépassement	1.92	Pas de dépassement	1.94	Pas de dépassement
Benzo(a)pyrène	**ng/m³**		1 *(valeur cible)*	0.11	Pas de dépassement Pas de teneur de fond	0.10	Pas de dépassement Pas de teneur de fond	0.11	Pas de dépassement Pas de teneur de fond
Monoxyde de carbone (CO)	**µg/m³**	10 000 *(en moyenne sur 8h)*		99	Pas de dépassement Pas de teneur de fond	49	Pas de dépassement Pas de teneur de fond	50	Pas de dépassement Pas de teneur de fond
Arsenic	**ng/m³**		6 *(valeur cible)*	0.3	Pas de dépassement	0.3	Pas de dépassement	0.3	Pas de dépassement
Nickel	**ng/m³**		20 *(valeur cible)*	2.7	Pas de dépassement	2.7	Pas de dépassement	2.7	Pas de dépassement

Source : Egis

3.3 - Conclusion

Le projet de la ZAC de la Constance a pour impact l'augmentation du kilométrage parcouru de l'ordre de 6 % par rapport à un horizon sans projet (Fil de l'eau).

Les évolutions des émissions en polluants sont cohérentes avec les évolutions du trafic routier dans la bande d'étude. Globalement, les émissions routières augmentent de 6 % à l'État projeté par rapport au Fil de l'eau.

L'évaluation des impacts du projet sur la qualité de l'air a été menée avec le modèle de dispersion atmosphérique ADMS Roads.

Les teneurs de fond en PM2.5 sont proches des normes de qualité de l'air.

Les teneurs maximales dépassent la valeur limite pour le dioxyde d'azote et l'objectif de qualité pour les particules PM2.5 à l'État projeté. Les teneurs maximales des autres polluants sont en deçà des normes réglementaires. Ces résultats étant sensiblement similaires pour l'état au Fil de l'eau, le projet n'est donc pas à l'origine de ces dépassements. De plus, ces dépassements de la valeur limite en NO_2 sont localisés à proximité de l'autoroute A8, dans une bande étroite de quelques mètres où aucun bâtiment de la ZAC n'est implanté à l'État projeté.

Sous réserve des hypothèses de trafic, la réalisation du projet de la ZAC de la Constance, à l'horizon 2033, n'aurait pas d'impact significatif sur la qualité de l'air à l'échelle de la zone d'étude.

4 - ÉVALUATION DE L'IMPACT DU PROJET SUR L'EXPOSITION DES POPULATIONS

L'évaluation de l'impact du projet sur l'exposition des populations est réalisée par l'estimation d'un indicateur simplifié, l'Indice Pollution Population (IPP). Ce chapitre présente la méthodologie employée pour la détermination de l'IPP ainsi que les résultats obtenus.

4.1 - Méthodologie

L'Indice Pollution Population (IPP) est un indicateur qui permet la comparaison de différents horizons d'étude et différentes variantes de tracé eu égard à leurs impacts sur l'exposition potentielle de la population présente dans la bande d'étude. Il intègre ainsi, dans un même critère, les teneurs en polluant et la population potentiellement exposée.

L'IPP consiste à croiser les données de population avec les données de qualité de l'air (les teneurs en polluants issues des résultats du modèle de dispersion) afin d'obtenir une distribution spatiale de la population potentiellement exposée.

Il convient de préciser que cet indicateur s'utilise comme une aide à la comparaison de situation. Il n'est en aucun cas le reflet d'une exposition absolue de la population à la pollution atmosphérique.

Le polluant retenu pour l'évaluation de l'IPP est le dioxyde d'azote.

Dans le cadre de cette étude, l'IPP a été évalué à l'horizon 2013 (***État de référence***) et à l'horizon 2033 (***Fil de l'eau*** et ***État projeté***), conformément à la note technique du 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du CEREMA. L'horizon de mise en service +20 ans n'est pas pris en compte dans cette étude (cf. 1.3.3 - Horizons d'étude).

Suivant la note technique du 22 février 2019, la population n'est pas projetée et reste constante aux horizons futurs, sauf en cas de projets d'urbanisation ayant un impact sur le nombre d'habitants. Le projet de la ZAC de la Constance prévoit l'aménagement de 3 600 nouveaux logements, les nouveaux habitants sont donc pris en compte dans le calcul de l'IPP.

Le calcul de l'IPP est soumis aux incertitudes relatives aux calculs de dispersion des polluants (*cf.* paragraphe 3.2.2 - Évaluation des teneurs dans l'air ambiant) et aux incertitudes relatives au dénombrement des populations. Enfin, il a été considéré pour ces calculs que l'ensemble de la population est situé au niveau du sol. Les résultats sont donc surestimés.

4.2 - Estimation de la population dans la bande d'étude

Pour rappel (*cf.* 2.1.1 - Densité et population générale), les populations communales ont été estimées en 2016 sur la base des données de population INSEE les plus récentes disponibles

Les populations situées dans la bande d'étude ont ensuite été déterminées, sous SIG, en interceptant la bande d'étude et les communes avec une clef de répartition spatiale (données d'occupation des sols Open Street Map et orthophotos) afin de localiser les populations sur les zones bâties.

Les populations des IRIS interceptés par la bande d'étude du projet sont données dans le Tableau 3.

Sur la base de ces estimations, la population en 2016 située dans la bande d'étude s'établit à 75 habitants.

Le projet de la ZAC de la Constance prévoit l'aménagement de 3 600 nouveaux logements au sein de la ZAC. Le nombre exact d'habitant n'étant pas connu, il a été retenu comme hypothèse que les habitations peuvent accueillir 3 personnes/logement, soit une population de 10 800 personnes à l'***État projeté*** 2033.

4.3 - Résultats de l'IPP

Les résultats de l'IPP du dioxyde d'azote sont présentées dans le Tableau 31.

Il convient de souligner que, compte tenu de la faible variabilité des teneurs en dioxyde d'azote, l'inter-comparaison de l'IPP doit être réalisée avec prudence.

Pour ce polluant, entre l'***État de référence 2013*** et le ***Fil de l'eau*** **2033**, une diminution de l'exposition des populations est observée, en cohérence avec la diminution des concentrations sur la ZAC.

Le projet de la ZAC de la Constance prévoit l'aménagement de 3 600 logements en 2033. La comparaison de l'IPP entre l'***État projeté 2033*** et le ***Fil de l'eau 2033*** n'est donc pas possible.

Le Tableau 31 montre qu'à l'***État projeté 2033***, l'ensemble des habitants sont exposés à des concentrations < 35 µg/m^3, donc inférieures à la valeur limite (40 µg/m^3) :

- 65,8 % des habitants sont exposés à des teneurs inférieures à 25 µg/m^3 ;
- 33,5 % des habitants sont exposés à des teneurs comprises entre 25 et 30 µg/m^3 ;
- 0,7 % des habitants sont exposés à des teneurs comprises entre 30 et 35 µg/m^3.

TABLEAU 31 – IPP DU DIOXYDE D'AZOTE DANS L'EMPRISE DU PROJET

	Population impactée en nombre d'habitants				
	Teneurs < 25 µg/m³	Teneurs comprises entre 25 et 30 µg/m³	Teneurs comprises entre 30 et 35 µg/m³	Teneurs comprises entre 35 et 40 µg/m³	Teneurs > 40 µg/m³
État de référence	31	15	22	2	5
Fil de l'eau	41	27	3	3	1
État projeté	7 104	3 618	78	0	0

Source : Egis

4.4 - Conclusion de l'IPP

Avec les hypothèses de trafic prises en compte et sur la base de l'Indice Pollution Population, indicateur sanitaire simplifié, la réalisation du projet ZAC de la Constance induirait une variation significative de l'exposition des populations présentes dans l'emprise du projet pour le dioxyde d'azote. Néanmoins, cette augmentation est causée par l'aménagement de 3 600 logements dans la ZAC. Le nombre d'habitant passe de 75 à 10 800 et de facto la population impactée augmente. Enfin, à l'***État projeté***, l'ensemble des habitants est exposé à des teneurs en dioxyde d'azote inférieures à la valeur limite (40 µg/m^3).

5 - ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES

Conformément à la note technique du 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du CEREMA, l'impact sanitaire du projet de la ZAC de la Constance à Aix-en-Provence a été établi selon la démarche de l'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS).

L'évaluation des risques sanitaires présentée ci-dessous a été menée pour :

- La situation nommé État de référence de l'année 2013 ;
- La situation sans projet à l'horizon de mise en service nommé Fil de l'eau de l'année 2033 ;
- La situation avec projet à l'horizon de mise en service nommé État projeté de l'année 2033.

5.1 - Rappel méthodologique

La démarche d'EQRS s'appuie sur une méthodologie définie par les documents suivants :

- Circulaire DGS n°2000-61 du 3 février 2000 relative au guide de lecture et d'analyse du volet sanitaire des études d'impacts ;
- Circulaire DGPR et DGS du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation ;
- Note d'information N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 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 et de la gestion des sites et sols pollués ;
- Note technique relative à la prise en compte des effets sur la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières – Ministère de la Transition écologique et solidaire et Ministère des Solidarités et de la Santé – 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières – CEREMA – 22 février 2019 ;
- Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact – Institut de Veille Sanitaire (InVS) - février 2000 ;
- Guide méthodologique pour l'évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les ICPE – INERIS – 2013 ;
- Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires des études d'impacts routières et ferroviaires – DGS, InVS, CERTU, SETRA, ADEME - novembre 2004 ;
- Avis de l'ANSES relatif à la sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières - juillet 2012.

Conformément aux guides méthodologiques cités précédemment, cette démarche est structurée en 4 étapes :

- **L'étape 1 concerne la caractérisation du site et de son environnement**. Dans cette étape, l'environnement du site est décrit et les émissions polluantes, ainsi que les populations sensibles présentes sur le domaine d'étude sont recensées.

Dans le cadre de cette étude, l'étape 1 a été menée dans le chapitre 2 ;

- **L'étape 2 traite de l'identification des dangers et de l'évaluation de la relation dose-réponse**. Elle consiste à identifier les substances susceptibles de générer un effet indésirable pour les populations et à sélectionner, pour chacune de ces substances, les valeurs toxicologiques de référence (VTR) disponibles dans la littérature ;
- **L'étape 3 concerne l'évaluation de l'exposition des populations**. Elle consiste à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition des populations.

Dans le cadre de cette étude, les niveaux d'exposition ont été déterminés avec un modèle de dispersion atmosphérique des polluants (cf. chapitre 3) ;

- **L'étape 4 correspond à la caractérisation des risques sanitaires**. Elle constitue l'étape de synthèse et est l'expression qualitative et, si possible, quantitative du risque. Dans cette étape, les résultats sont analysés et les incertitudes sont évaluées.

L'évaluation des risques sanitaires a été conduite dans un objectif de transparence conformément aux trois principes majeurs de la démarche :

- Le principe de prudence, lié aux limites relatives à l'état des connaissances ;
- Le principe de proportionnalité qui veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude, l'importance de la pollution et son incidence prévisible ;
- Le principe de spécificité qui vise à tenir compte au mieux des caractéristiques propres au site, des sources de pollution et des populations cibles.

Les paragraphes suivants présentent cette méthodologie de manière détaillée.

5.2 - Identification des dangers et des scénarios d'exposition

5.2.1 - Considérations générales sur les substances et les valeurs toxicologiques de références

L'exposition de la population aux substances toxiques peut se produire :

- **Par inhalation** (voie respiratoire) pour la plupart des polluants gazeux ou particulaires (poussières, certains métaux…),
- **Par ingestion** (voie orale) pour les polluants particulaires se déposant au sol et présentant un caractère toxique par ingestion (dioxines et furanes, HAP, certains métaux).

L'exposition par ingestion peut être directe lors de l'ingestion de sol contaminé (via les mains et les objets souillés par de la terre et portés à la bouche) ou indirecte lors de l'ingestion d'aliments lorsque les retombées de polluants sont responsables d'une contamination de la chaîne alimentaire.

En termes sanitaires, un danger désigne un effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain. Différents effets toxiques peuvent être considérés. Pour l'ensemble des substances prises en compte dans le cadre de cette étude, les effets toxiques ont été étudiés et notamment les effets cancérigènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (altération du patrimoine génétique) et les effets sur la reproduction (reprotoxicité).

En fonction de la durée d'exposition, deux types de risque peuvent être observés :

- **Le risque chronique** correspond à la survenue de troubles liés à une exposition prolongée à de faibles doses. Ils surviennent en général avec un temps de latence qui peut atteindre plusieurs mois, voire des décennies, et sont habituellement irréversibles en l'absence de traitement. Dans ce cas-là, on se réfère à des concentrations en moyennes annuelles.
- **Le risque aigu** correspond à la survenue de troubles liés à une exposition très courte à forte dose. Dans ce cas-là, on se réfère à des concentrations journalières ou à défaut horaires selon les relations dose-réponse disponibles.

Enfin, selon les mécanismes toxiques mis en jeu, deux types d'effets indésirables pour la santé peuvent être classiquement distinguées :

- **Les effets survenant à partir d'un seuil** : l'effet survient au-delà d'une dose administrée, pour une durée d'exposition déterminée à une substance isolée. En-deçà de cette dose seuil, on considère qu'aucun effet ne survient. Au-delà, l'intensité de l'effet croît avec l'augmentation de la dose administrée.

Ce sont principalement les effets non cancérogènes, voire les effets non génotoxiques, qui sont classés dans cette famille. Dans le cas d'une exposition par inhalation, la dose seuil s'exprime sous la forme d'une concentration de référence (notée VTR, Valeur Toxicologique de Référence) ;

- **Les effets survenant sans seuil de dose** : l'effet apparaît quelle que soit la dose reçue. La probabilité de survenue croît avec la dose et la durée d'exposition, mais l'intensité de l'effet n'en dépend pas.

Ce sont principalement les effets cancérogènes génotoxiques. Dans le cas d'une exposition par inhalation, la VTR s'exprime alors sous la forme d'un Excès de Risque Unitaire (noté ERUi).

Un ERU de 10^{-4} signifie qu'une personne exposée durant toute sa vie à 1 µg/m^3 de polluant aurait une probabilité supplémentaire de contracter un cancer de 0,0001 (par rapport à un sujet non exposé). Cela signifie aussi que si 10 000 personnes sont exposées, 1 cas de cancer supplémentaire est susceptible d'apparaître. Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) et l'US-EPA ont par ailleurs classé la plupart des composés chimiques en fonction de leur cancérogénicité.

À noter qu'une substance peut produire ces deux types d'effets.

Les VTR sont produites par des experts toxicologues en fonction des données de la littérature, de résultats expérimentaux et d'enquêtes épidémiologiques. Ce travail, qui nécessite une expertise particulière, est confié à des organismes tels que l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'US-EPA (Environmental Protection Agency) ou l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry).

Les VTR ne font pas l'objet d'une réglementation spécifique qui fixe les valeurs à retenir. Le choix des VTR est laissé à l'appréciation de l'auteur de l'étude. Néanmoins, le guide de l'InVS [2000] et la DGS [2014] recommandent les critères de choix suivants pour les VTR :

- L'existence d'une VTR ;
- La voie d'exposition en lien avec la voie à évaluer pour le composé considéré ;
- La durée d'exposition (aiguë, subaiguë ou chronique) en lien avec la durée à évaluer dans l'étude ;
- La notoriété de l'organisme dans l'ordre de priorité suivant : ANSES, expertise collective nationale, US-EPA, ATSDR et OMS en tenant compte de la date d'actualisation de la VTR, Santé Canada, RIVM, OEHHA et EFSA.

5.2.2 - Scénario d'exposition

L'étude air et santé lié au grand projet de la ZAC de la Constance est de niveau I, en raison notamment de la présence de populations sensibles situées au droit du projet (Nouveau groupe scolaire de la ZAC). Ainsi dans le cadre de cette étude, les voies d'exposition par inhalation pour les sites sensibles et les populations riveraines les plus impactées, et par ingestion de sol pour les enfants de la future école, seront étudiées.

5.2.3 - Choix des traceurs de risque

En conformité avec la note technique relative à la prise en compte des effets sur la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières et du guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières – CEREMA de février 2019, le Tableau 32 présente les substances retenues dans la présente étude par type d'effet pour les voies d'exposition étudiées (inhalation et ingestion). La liste proposée se base sur la note technique du 22 février 2019.

TABLEAU 32 – POLLUANTS RETENUS POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES			
Substances	Exposition aiguë par inhalation	Exposition chronique par inhalation	Exposition chronique par ingestion
Dioxyde d'azote	**X**	**X**	
Benzène	**X**	**X**	
PM10 et PM2.5	**X**	**X**	
1,3-butadiène		**X**	
Arsenic		**X**	
Chrome		**X**	
Nickel		**X**	
16 HAP (ci-dessous)		**X**	**X**
Acénaphtène		**X**	**X**
Acénaphtylène		**X**	**X**
Anthracène		**X**	**X**
Benzo(a)anthracène		**X**	**X**
Benzo(b)fluoranthène		**X**	**X**
Benzo(k)fluoranthène		**X**	**X**
Benzo(ghi)pérylène		**X**	**X**
Chrysène		**X**	**X**
Dibenzo(a,h)anthracène		**X**	**X**
Benzo(a)pyrène		**X**	**X**
Fluorène		**X**	**X**
Fluoranthène		**X**	**X**
Indéno(1,2,3-cd)pyrène		**X**	**X**
Phénanthrène		**X**	**X**
Pyrène		**X**	**X**
Benzo(j)fluoranthène		**X**	**X**

5.2.4 - Choix des relations dose réponse

Pour chacun des traceurs de risque retenus, les Tableau 34 à Tableau 39 présentent les relations dose-réponse (Valeurs Toxicologiques de Références et Valeurs Guides) retenues pour une exposition chronique et aigue par inhalation pour les effets avec et sans seuil.

Le choix de ces VTR est détaillé en annexe 10.2 - Fiches toxicologiques.

Cas particulier des HAP pour traiter des effets sans seuil

Pour traiter des effets sans seuil des HAP pour les voies d'exposition par inhalation et par ingestion, nous choisissons de retenir l'approche par substances ; le benzo(a)pyrène est alors retenu comme traceur du risque cancérigène pour l'ensemble des HAP et la concentration en équivalents benzo(a)pyrène est calculée selon l'équation :

$$C_{eq\,benzo(a)\,pyrène} = \sum_i (FET)_i C_i$$

Cette méthode permet de tenir compte de l'ensemble des HAP présents dans le mélange et est donnée comme appropriée pour les gaz d'échappement d'essence par l'INERIS en 2006 dans son rapport « Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) – Évaluation de la dose réponse pour les effets cancérigènes : approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique – FET) et approche par mélanges – mise à jour 03 janvier 2006.

Les FET des HAP proposés par l'INERIS, à partir de l'étude et de la synthèse des différentes tables existantes, et en particulier de celle de Nisbet et Lagoy (1992), sont présentés dans le Tableau 33.

Pour évaluer le risque sans seuil, le calcul des concentrations et des flux de HAP exprimés en équivalent benzo(a)pyrène est donc réalisé à partir des FET préconisé par l'INERIS.

TABLEAU 33 – FACTEURS D'ÉQUIVALENCE TOXIQUE

Substances	Préconisations INERIS (2006)
Acénaphtène	0,001
Acénaphthylène	0,001
Anthracène	0,01
Benzo(a)anthracène	0,1
Benzo(a)pyrène	1,0
Benzo(b)fluoranthène	0,1
Benzo(g,h,i)perylène	0,01
Benzo(k)fluoranthène	0,1
Chrysène	0,01
Coronène	0,001
Cyclopenta(c,d)pyrène	0,1
Dibenzo(a,c)anthracène	0,1
Dibenzo(a,h)anthracène	**1**
Fluoranthène	0,001
Fluorène	0,001
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0,1
Naphtalène	0,001

Substances	Préconisations INERIS (2006)
2-méthylnaphtalène	0,001
Phénanthrène	0,001
Pyrène	0,001

TABLEAU 34 – VALEURS GUIDE POUR UNE EXPOSITION CHRONIQUE PAR INHALATION

Polluants	Valeur Guide (µg/m^3)	Source	Effets et organes cibles
Dioxyde d'azote	40	OMS - 2005	Effets respiratoires
PM2.5	10	OMS - 2005	Effets respiratoires et mortalité par cancer
PM10	20	OMS - 2005	Effets respiratoires et mortalité par cancer

TABLEAU 35 – VTR POUR UNE EXPOSITION CHRONIQUE PAR INHALATION POUR DES EFFETS À SEUIL

Polluants	VTR chronique (µg/m^3)	Source	Effets et organes cibles
Benzène	10	ATSDR – 2007	Effets immunologiques (diminution du nombre de lymphocytes circulants)
1,3-butadiène	2	US-EPA – 2002 OEHHA – 2013	Ovaires (atrophie)
Nickel	0,09	ATSDR – 2005	Effets pulmonaires
Chrome VI	0,03	OMS – 2013	Effets pulmonaires
Arsenic	0,015	OEHHA – 2008	Diminution de la capacité intellectuelle chez les enfants
Benzo(a)pyrène	0,002	US-EPA – 2017	Effets sur le développement
Autres HAP	Pas de VTR		

TABLEAU 36 – ERU POUR UNE EXPOSITION CHRONIQUE PAR INHALATION POUR DES EFFETS SANS SEUIL

Polluants	ERU $(\mu g/m^3)^{-1}$	Source	Effets et organes cibles
Benzène	$2{,}6.10^{-5}$	ANSES – 2014	Leucémie
1,3-butadiène	$1{,}7.10^{-4}$	OEHHA – 2008	Cancer des poumons et des bronches
Nickel	$2{,}6.10^{-4}$	OEHHA - 2011	Cancer pulmonaire
Chrome VI	4.10^{-2}	OMS CICAD – 2013	Cancer du poumon
Arsenic	$4{,}3.10^{-3}$	US-EPA - 1998	Cancer du poumon
Benzo(a)pyrène	6.10^{-4}	US-EPA – 2017	Cancer de la région gastro-intestinale et de l'appareil respiratoire supérieur

TABLEAU 37 – VTR POUR UNE EXPOSITIN AIGUË PAR INHALATION

Polluants	VTR aiguë $(\mu g/m^3)$	Source	Effets et organes cibles
Dioxyde d'azote (1h)	200	OMS - 2000	Effets respiratoires
PM10 (24h)	50	OMS - 2005	Effets respiratoires et mortalité par cancer
PM2.5 (24h)	25	OMS - 2005	Effets respiratoires et mortalité par cancer

TABLEAU 38 – VTR POUR UNE EXPOSITION CHRONIQUE PAR INGESTION POUR DES EFFETS À SEUIL

HAP	VTR_o chronique (mg/kg pc/j)	Source	Effets et organes cibles
Benzo(a)pyrène	3.10^{-4}	US-EPA - 2017	Effet sur le développement (y compris neurologique)
Acénaphtène	6.10^{-2}	US-EPA 1990	Effets hépatiques
Anthracène	3.10^{-1}	US-EPA 1990	Pas d'effets observés
Benzo(ghi)pérylène	3.10^{-2}	RIVM 2001	Effets critiques non spécifiés
Fluorène	4.10^{-2}	US-EPA 1990	Effets hématologiques, hépatiques et cardiaques
Fluoranthène	4.10^{-2}	US-EPA 1990	Effets hématologiques
Phénanthrène	4.10^{-2}	RIVM 2001	Effets critiques non spécifiés
Pyrène	3.10^{-2}	US-EPA 1993	Effets rénaux
Autres HAP		Pas de VTR	

TABLEAU 39 – ERU POUR UNE EXPOSITION CHRONIQUE PAR INGESTION POUR DES EFFETS SANS SEUIL			
HAP	ERU_o (mg/kg pc/j)$^{-1}$	Source	Effets et organes cibles
Benzo(a)pyrène	1	US-EPA - 2017	Cancer de l'estomac, trachée et œsophage

5.3 - Évaluation de l'exposition des populations

L'évaluation quantitative des expositions consiste à estimer les doses de substances auxquelles les populations (y compris les populations sensibles) sont les plus exposées.

5.3.1 - Paramètres d'exposition

Dans le cadre de cette étude, les scénarios d'exposition retenus correspondent aux populations sensibles et aux populations riveraines les plus exposées identifiées sur la Figure 30.

- Scénario 1 : Futur groupe scolaire de la ZAC, le plus impacté ;
- Scénario 2 : Riverains les plus exposés sans la réalisation du projet (localisés dans l'emprise du projet au Nord-Est à proximité de l'autoroute A8) ;
- Scénario 3 : Riverains les plus exposés avec la réalisation du projet (localisés au Nord-Est) ;
- Scénario 4 : Exposition maximale dans la ZAC.

L'exposition par inhalation est étudiée pour tous les scénarios.

L'exposition par ingestion sera étudiée pour le scénario 1 en considérant comme cible les enfants du groupe scolaire. Cette voie d'exposition n'est pas retenue pour les populations riveraines car aucun jardin potager n'a été identifié au niveau des riverains étudiés.

Les paramètres d'exposition retenus sont présentés dans le Tableau 40.

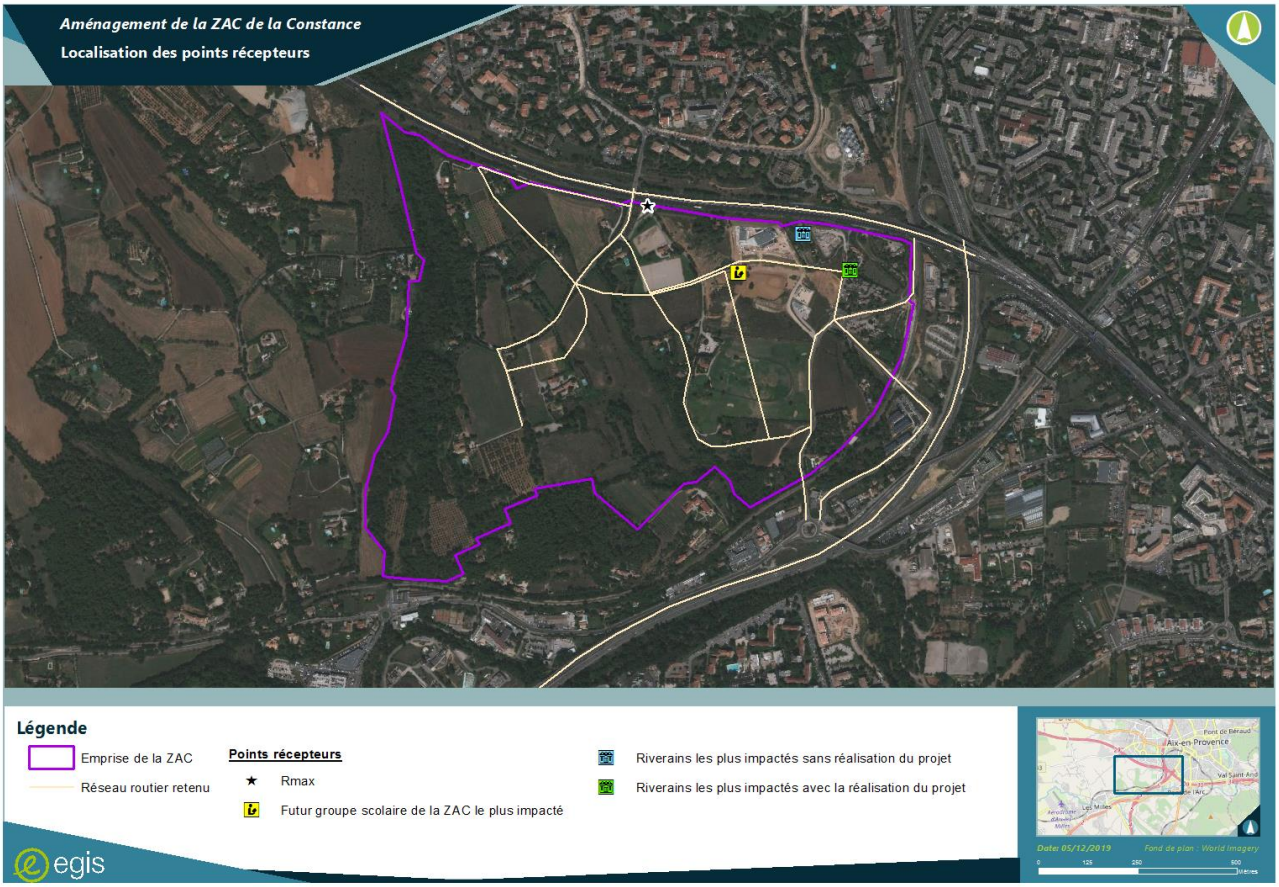
TABLEAU 40 – PARAMÈTRES D'EXPOSITION DANS LE CADRE DE L'EQRS POUR UNE EXPOSITION PAR INHALATION ET PAR INGESTION	
Paramètres	Hypothèses de scénarios retenues
Concentration d'exposition	**Scénario 1 :** teneurs au droit de la nouvelle école de la ZAC **Scénario 2** : teneurs au droit des riverains les plus impactées sans la réalisation du projet **Scénario 3 :** teneurs au droit des riverains les plus impactées avec la réalisation du projet **Scénario 4** : Exposition maximale dans la ZAC.
F inhalation	**Scénario 1:** F = 0,12 **Scénarios 2 à 4 :** F = 1
F ingestion	**Scénario 1** : F = 0,49
T (cas des effets sans seuils)	**Scénario 1 :** T = 8 ans **Scénarios 2 à 4 :** T = 30 ans

La fréquence annuelle d'exposition (F) : Pour le scénario 1, les données (reprises par l'INERIS) sont issues de l'étude Gauvin (2001) : le temps passé dans les locaux d'une école est de 6h/j 180 j/an soit F = 0,12 (unités de temps d'exposition : l'heure) ou F = 0,49 (unité de temps d'exposition : le jour). Pour les scénarios 2 à 4, l'exposition est considérée comme continue 24 h/j et 365 j/an, soit F = 1.

La durée d'exposition (T) : Pour le scénario 1, les données sont issues de l'étude Gauvin citée ci-dessus, la durée d'exposition est fixée à 8 ans pour une école primaire (maternelle + élémentaire). Pour les scénarios 2 à 4, le temps d'exposition est fixé à 30 ans. En effet, des études montrent que le temps de résidence moyen d'un ménage dans un même logement est de 30 ans (percentile 90 – étude réalisée en France [Nedellec et al, 1998], percentile 95 de la distribution donnée dans l'Exposure Factor Handbook).

FIGURE 30 – LOCALISATION DES POINTS RÉCEPTEURS

Source : Egis



5.3.2 - Évaluation de l'exposition par inhalation

Pour évaluer l'exposition par inhalation une pénétration dans l'organisme de la totalité des substances inhalées est considérée.

En exposition chronique, la concentration d'exposition ou concentration inhalée est déduite de l'équation suivante :

$$\mathbf{CI = Cair \times F}$$

avec :

- CI : concentration inhalée par la cible, exprimée en µg/m^3 ;
- Cair : concentration en polluant dans l'air en moyenne annuelle, exprimée en µg/m^3 et estimée à partir de la modélisation de la dispersion atmosphérique ;
- F : fréquence annuelle d'exposition à la concentration Cair.

En exposition aiguë, la concentration inhalée est la concentration maximale d'exposition (percentiles) sur la durée d'exposition (1h ou 24 h selon la substance).

Le Tableau 41 et le Tableau 42 présentent respectivement les concentrations moyennes et les concentrations maximales d'exposition associées à l'impact du projet, pour les 3 états considérés (2013 et 2033 avec et sans projet). Dans les tableaux sont indiqués les valeurs bruit de fond (BF) qui ont été considérées dans l'étude. En l'absence de cette indication, aucun bruit de fond n'a été retenu. Les teneurs en bruit de fond sont les valeurs mesurées lors de la campagne de mesures Egis en octobre 2019.

La concentration en eq benzo(a)pyrène a été calculée à partir des éléments présentés au paragraphe 5.2.4 sur les HAP.

Par ailleurs, les riverains les plus impactés en l'absence du projet ne devraient plus être présents avec le projet. Les riverains les plus impactés par le projet ne sont pas présents dans la configuration actuelle ni au fil de l'eau.

TABLEAU 41 – CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES D'EXPOSITION POUR LES SUBSTANCES TRACEURS DU RISQUE PAR INHALATION EN EXPOSITION CHRONIQUE

Concentration d'exposition (µg/m^3)

Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Dioxyde d'azote ***BF = 21,6 µg/m³***	État de référence	48,75	0,00	0,00	50,19
	Fil de l'eau	30,46	0,00	0,00	45,09
	État projeté	0,00	30,37	3,21	45,53
Benzène ***BF = 0,68 µg/m³***	État de référence	0,702	0,00	0,00	0,783
	Fil de l'eau	0,687	0,00	0,00	0,726
	État projeté	0,00	0,687	0,082	0,727
PM10 ***BF = 13,4 µg/m³***	État de référence	14,90	0,00	0,00	31,95
	Fil de l'eau	14,19	0,00	0,00	29,30
	État projeté	0,00	14,70	1,69	29,46
PM2.5 ***BF = 8.67 µg/m³***	État de référence	9,92	0,00	0,00	22,02
	Fil de l'eau	9,16	0,00	0,00	19,17
	État projeté	0,00	9,45	1,09	19,27
1,3-Butadiène ***BF = 0,07 µg/m³***	État de référence	8,29E-02	0,00	0,00	1,18E-01
	Fil de l'eau	7,31E-02	0,00	0,00	8,18E-02
	État projeté	0,00	7,29E-02	8,63E-03	8,21E-02
Nickel ***BF = 2,7 ng/m³***	État de référence	2,70E-03	0,00	0,00	2,72E-03
	Fil de l'eau	2,70E-03	0,00	0,00	2,72E-03
	État projeté	0,00	2,71E-03	8,63E-03	2,72E-03
Chrome ***BF = 7,5 ng/m³***	État de référence	7,51E-03	0,00	0,00	7,54E-03
	Fil de l'eau	7,51E-03	0,00	0,00	7,55E-03
	État projeté	0,00	7,52E-03	3,24E-04	7,56E-03

Concentration d'exposition (µg/m^3)

Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Arsenic ***BF = 0,3 ng/m^3***	État de référence	3,01E-04	0,00	0,00	3,02E-04
	Fil de l'eau	3,01E-04	0,00	0,00	3,02E-04
	État projeté	0,00	3,01E-04	9,01E-04	3,02E-04
Benzo(a)pyrène	État de référence	3,07E-05	0,00	0,00	1,14E-04
	Fil de l'eau	2,66E-05	0,00	0,00	1,00E-04
	État projeté	0,00	4,25E-05	3,60E-05	1,08E-04
Eq Benzo(a)pyrène	État de référence	5,96E-05	0,00	0,00	2,22E-04
	Fil de l'eau	5,27E-05	0,00	0,00	1,99E-04
	État projeté	0,00	8,13E-05	2,52E-06	2,14E-04
Acénaphtène	État de référence	5,41E-04	0,00	0,00	2,01E-03
	Fil de l'eau	3,77E-04	0,00	0,00	1,42E-03
	État projeté	0,00	6,26E-04	4,89E-06	1,54E-03
Acénaphtylène	État de référence	4,05E-04	0,00	0,00	1,50E-03
	Fil de l'eau	2,82E-04	0,00	0,00	1,06E-03
	État projeté	0,00	4,68E-04	3,66E-05	1,15E-03
Anthracène	État de référence	5,93E-05	0,00	0,00	2,22E-04
	Fil de l'eau	9,00E-05	0,00	0,00	3,39E-04
	État projeté	0,00	1,30E-04	2,74E-05	3,65E-04
Benzo(a)anthracène	État de référence	5,41E-05	0,00	0,00	2,01E-04
	Fil de l'eau	4,68E-05	0,00	0,00	1,76E-04
	État projeté	0,00	7,30E-05	8,04E-06	1,90E-04

Concentration d'exposition (µg/m^3)

Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Benzo(b)fluoranthène	État de référence	4,35E-05	0,00	0,00	1,62E-04
	Fil de l'eau	4,23E-05	0,00	0,00	1,60E-04
	État projeté	0,00	5,92E-05	4,37E-06	1,71E-04
Benzo(k)fluoranthène	État de référence	3,77E-05	0,00	0,00	1,41E-04
	Fil de l'eau	3,57E-05	0,00	0,00	1,35E-04
	État projeté	0,00	4,70E-05	3,70E-06	1,44E-04
Benzo(ghi)pérylène	État de référence	5,89E-05	0,00	0,00	2,19E-04
	Fil de l'eau	5,85E-05	0,00	0,00	2,20E-04
	État projeté	0,00	9,53E-05	3,02E-06	2,38E-04
Chrysène	État de référence	1,13E-04	0,00	0,00	4,24E-04
	Fil de l'eau	1,01E-04	0,00	0,00	3,84E-04
	État projeté	0,00	1,36E-04	5,61E-06	4,10E-04
Dibenzo(a,h)anthracène	État de référence	7,10E-06	0,00	0,00	2,64E-05
	Fil de l'eau	5,55E-06	0,00	0,00	2,09E-05
	État projeté	0,00	8,54E-06	8,65E-06	2,25E-05
Fluorène	État de référence	8,13E-05	0,00	0,00	3,08E-04
	Fil de l'eau	9,85E-05	0,00	0,00	3,76E-04
	État projeté	0,00	8,20E-05	5,14E-07	3,93E-04
Fluoranthène	État de référence	4,99E-04	0,00	0,00	1,86E-03
	Fil de l'eau	4,70E-04	0,00	0,00	1,77E-03
	État projeté	0,00	7,34E-04	6,59E-06	1,91E-03

Concentration d'exposition (µg/m^3)

Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	État de référence	3,03E-05	0,00	0,00	1,13E-04
	Fil de l'eau	2,97E-05	0,00	0,00	1,12E-04
	État projeté	0,00	4,65E-05	4,39E-05	1,21E-04
Phénanthrène	État de référence	9,57E-04	0,00	0,00	3,56E-03
	Fil de l'eau	9,99E-04	0,00	0,00	3,76E-03
	État projeté	0,00	1,60E-03	2,78E-06	4,07E-03
Pyrène	État de référence	4,74E-04	0,00	0,00	1,77E-03
	Fil de l'eau	4,01E-04	0,00	0,00	1,51E-03
	État projeté	0,00	6,02E-04	9,47E-05	1,63E-03
Benzo(j)fluoranthène	État de référence	3,07E-05	0,00	0,00	1,16E-04
	Fil de l'eau	4,83E-05	0,00	0,00	1,83E-04
	État projeté	0,00	5,28E-05	3,66E-05	1,94E-04

TABLEAU 42 – CONCENTRATIONS MAXIMALES D'EXPOSITION POUR LES SUBSTANCES TRACEURS DU RISQUE PAR INHALATION EN EXPOSITION AIGUË

Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Dioxyde d'azote **BF = 21,6 µg/m³**	État de référence	74,69	0,00	0,00	85,78
	Fil de l'eau	44,22	0,00	0,00	73,12
	État projeté	0,00	43,18	36,79	72,76
PM10 **BF = 13,4 µg/m³**	État de référence	17,33	0,00	0,00	28,66
	Fil de l'eau	15,45	0,00	0,00	21,34
	État projeté	0,00	16,27	14,90	21,39
PM2.5 **BF = 8.67 µg/m³**	État de référence	12,24	0,00	0,00	22,50
	Fil de l'eau	10,04	0,00	0,00	14,02
	État projeté	0,00	10,85	9,75	14,14

5.3.3 - Évaluation de l'exposition par ingestion

L'exposition des populations par ingestion (calcul des doses journalières d'exposition) est estimée à partir du protocole HHRAP[18] (2005) en considérant l'ingestion directe de sol (via les mains et les objets souillés par de la terre et portés à la bouche) pour les enfants du groupe scolaire.

Les étapes de calcul des concentrations de polluant dans les sols ainsi que les doses ingérées sont présentées ci-après.

5.3.3.1 - Estimation des concentrations en polluants dans les sols

La concentration dans le sol en polluants est estimée à partir de l'équation ci-dessous :

$$C_{St} = \frac{D_t \times (1 - e^{-k.t})}{\mu \times Z \times k}$$

Avec :

- CSt : Concentration de polluant dans le sol pour une durée d'exposition t, avec CS0 = 0 à l'instant t = 0 (exprimée en mg de polluant/kg de sol) ;
- Dt : Flux de dépôts de polluant au sol (exprimé en mg de polluant/m² de surface au sol/an) ;
- k : Constante d'atténuation liée aux phénomènes d'érosion, de ruissellement, de volatilisation, de lixiviation et de dégradation (an^{-1}) ;
- t : Durée d'accumulation des dépôts au sol (an) ;
- µ : Masse volumique du sol (kg de sol / m³ de sol) ;
- Z : Épaisseur de la couche de sol où s'accumule le polluant (m de sol).

Conformément aux recommandations de l'US-EPA [HHRAP, 2005], la valeur de la constante d'atténuation k retenue est égale à 0 pour l'ensemble des polluants considérés, ce qui nous amène à utiliser la formule de calcul suivant :

$$C_{St} = \frac{D_t}{\mu \times Z} \times t$$

La densité du sol retenue dans le cadre de cette étude est de 1,3 g/cm³ [INERIS, 2003].

La concentration de polluant dans le sol est calculée pour une profondeur de sol Z de 1 cm pour les scénarios d'ingestion directe de sol par l'homme [HHRAP, 2005].

Les flux de dépôts au sol sont ramenés dans cette étude à 30 ans d'émissions des infrastructures routières. Ainsi, en retenant une valeur t égale à 30 ans, la concentration CS30 calculée correspond à la concentration en polluants dans le sol, liée à l'accumulation des dépôts au sol au bout de 30 ans d'émissions des infrastructures routières. Cette concentration est retenue pour tous les scénarios étudiés.

Les flux de dépôts au sol issus de la modélisation pour les 3 états considérés et pour les points récepteurs retenus dans l'environnement sont présentés dans le Tableau 43.

---

18 Human Health Risk Assessment Protocol

TABLEAU 43 – FLUX DE DÉPÔTS MOYEN AU SOL POUR LES POLLUANTS TRACEURS DE RISQUE

Flux de dépôts au sol (µg/m²/s)

Traceurs de risques HAP	État	Nouveau Groupe scolaire
Benzo(a)pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	3,43E-08
Eq benzo(a)pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	6,65E-08
Acénaphtène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	4,99E-07
Acénaphtylène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	3,73E-07
Anthracène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,09E-07
Benzo(a)anthracène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	5,94E-08
Benzo(b)fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	5,02E-08
Benzo(k)fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	4,09E-08
Benzo(ghi)pérylène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	7,64E-08
Chrysène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,17E-07
Dibenzo(a,h)anthracène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	6,99E-09
Fluorène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	8,83E-08
Fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	5,97E-07
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	3,78E-08
Phénanthrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,29E-06
Pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	4,97E-07

		Flux de dépôts au sol (µg/m²/s)
Traceurs de risques HAP	État	Nouveau Groupe scolaire
Benzo(j)fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	4,97E-08

5.3.3.2 - Estimation des doses ingérées

L'exposition en polluant par ingestion est exprimée par la Dose Journalière d'Exposition (DJE), qui s'exprime en mg de substance par kg de masse corporelle et par jour (mg/kg pc/j), selon la formule :

$$DJE = \frac{\sum_i C_i \times Q_i \times F}{P}$$

Avec :

- Ci : Concentration en polluant dans le milieu i d'exposition (sol) calculée selon les équations présentées dans le chapitre précédent,
- Qi : Quantité de milieu i d'exposition administrée par la voie orale par jour,
- F : Fréquence annuelle d'exposition (présentée dans le Tableau 40)
- P : Poids corporel de la cible (kg).

L'apport de chaque polluant via l'ingestion de sol et de poussières a été estimé en considérant les quantités de terre ingérées par enfant selon les données de l'US-EPA [2011].

La source de données françaises la plus récente pour le poids corporel est l'enquête décennale santé 2002-2003 de l'INSEE Ces résultats sont disponibles dans l'article de Tanguy [2007].

L'ensemble de ces paramètres liés aux caractéristiques de la population est fourni en annexe 10.3. Les doses ingérées ainsi estimées sont présentées dans le Tableau 44.

TABLEAU 44 – DOSE JOURNALIÈRE D'EXPOSITION DES ENFANTS POUR LES TRACEURS DE RISQUE CONSIDÉRÉS PAR INGESTION EN EXPOSITION CHRONIQUE

		Dose journalière d'exposition (mg/kg pc/j) enfant
Traceurs de risques HAP	État	Nouveau Groupe scolaire
Benzo(a)pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	7,08E-09
Eq benzo(a)pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,37E-08
Acénaphtène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,03E-07
Acénaphtylène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	7,70E-08

		Dose journalière d'exposition (mg/kg pc/j) enfant
Traceurs de risques HAP	État	Nouveau Groupe scolaire
Anthracène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	2,25E-08
Benzo(a)anthracène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,23E-08
Benzo(b)fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,04E-08
Benzo(k)fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	8,45E-09
Benzo(ghi)pérylène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,58E-08
Chrysène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	2,42E-08
Dibenzo(a,h)anthracène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,44E-09
Fluorène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,82E-08
Fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,23E-07
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	7,81E-09
Phénanthrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	2,66E-07
Pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,03E-07
Benzo(j)fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,03E-08

5.4 - Caractérisation de risques sanitaires en exposition chronique

5.4.1 - Caractérisation du risque par inhalation

Pour les polluants à effets à seuil faisant suite à une exposition par inhalation, la possibilité d'effets toxiques pour les populations exposées est matérialisée par le calcul du Quotient de Danger (QD), selon la formule suivante :

QD = CI / VTR

Avec :

- CI : concentration moyenne d'exposition inhalée, exprimée en µg/m^3 d'air inhalé,
- VTR : valeur toxicologique de référence pour les effets à seuil choisie dans cette évaluation, exprimée en µg/m^3 d'air inhalé, pour une exposition chronique par inhalation.

En termes d'interprétation, lorsque le quotient de danger est inférieur à 1, la survenue d'effet à seuil paraît peu probable, même pour les populations sensibles. Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'effets ne peut être exclue. À titre d'illustration, un QD égal à 2 signifie que la dose d'exposition est deux fois plus élevée que la VTR et non pas qu'il y a deux fois plus de risque de voir l'effet se manifester.

Pour les polluants à effets sans seuil (cancérogènes génotoxiques), on calcule un Excès de Risque Individuel (ERI), correspondant à la probabilité supplémentaire, par rapport au risque de base, de survenue d'un cancer au cours d'une vie entière pour les concentrations réelles d'exposition. L'Excès de Risque Individuel est calculé par la formule suivante :

ERI = ERU x CI x T/Tm

Avec :

- ERU : Excès de Risque Unitaire par inhalation pour une vie entière (conventionnellement 70 ans). C'est la probabilité de survenue d'un cancer, au cours de l'exposition d'un individu durant sa vie entière à la concentration de 1 µg/m^3 ;
- T : durée d'exposition en années définie dans le Tableau 40;
- Tm : durée de vie, fixée conventionnellement à 70 ans ;
- CI : concentration d'exposition (en µg/m^3).

En terme d'interprétation, de façon à apprécier le risque cancérogène, caractérisé par l'Excès de Risque Individuel, l'US-EPA prend en considération un risque repère de 10^{-6} pour un risque collectif touchant l'ensemble d'une population, et une valeur maximale de 10^{-4} pour juger du risque auquel un individu peut être exposé. L'ATSDR utilise souvent un intervalle de 10^{-4} à 10^{-6} pour l'excès de risque de cancer vie entière pour déterminer s'il y a une préoccupation particulière pour le risque cancérogène.

Pour sa part, la circulaire DGS et DGPR du 09/08/13 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation mentionne la valeur de 10-5 comme critère d'acceptabilité de l'évaluation de risque sanitaire.

Dans le cadre de cette étude, nous retenons donc la valeur de 10^{-5} comme critère d'acceptabilité de l'Excès de Risque Individuel (ERI).

Que représente l'Excès de Risque Unitaire (ERUi) ?

L'ERUi correspond à la probabilité supplémentaire de survenue de l'effet sans seuil (cancer génotoxique) pour l'individu exposé durant sa vie entière, en plus de la probabilité de le développer uniquement à cause de la pollution de fond. C'est en ce sens que l'on parle d'excès de risque.

Comment interpréter l'Excès de Risque Individuel (ERI) ?

L'ERI est la probabilité que l'individu exposé développe au cours de sa vie l'effet associé à une exposition limitée dans le temps à un agent dangereux, compte tenu de sa dose journalière d'exposition et de l'excès de risque unitaire (ERUi) de la substance étudiée.

Par exemple, un ERI de 0.0001 signifie qu'un individu exposé toute sa vie à une substance cancérogène a 1 chance sur 10 000 de contracter un cancer lié à cette substance. Autrement dit, sur une population de 10 000 habitants, cette substance va être à l'origine d'un cas de cancer supplémentaire.

5.4.1.1 - Polluants à effets à seuil

5.4.1.1.1 - Dioxyde d'azote et particules

Pour le dioxyde d'azote et les particules qui ne disposent pas de VTR, mais d'une Valeur Guide (VG) pour la protection de la santé, les teneurs moyennes annuelles inhalées sont comparées aux valeurs guide pour la protection de la santé proposée par l'OMS pour les 3 états étudiés (cf. Tableau 45).

TABLEAU 45 – CONCENTRATIONS INHALÉES POUR LE DIOXYDE D'AZOTE ET LES PARTICULES VS VALEURS GUIDES OMS

Traceurs de risque	État	Concentrations d'exposition (µg/m³)				Valeur guide (µg/m³)
		Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax	
Dioxyde d'azote **BF = 21,6 µg/m³**	État de référence	48,75	0,00	0,00	56,04	40
	Fil de l'eau	30,46	0,00	0,00	45,09	
	État projeté	0,00	30,37	3,21	45,53	
PM10 **BF = 13,4 µg/m³**	État de référence	14,90	0,00	0,00	31,95	20
	Fil de l'eau	14,19	0,00	0,00	29,30	
	État projeté	0,00	14,70	1,69	29,46	
PM2.5 **BF = 8,67 µg/m³**	État de référence	9,92	0,00	0,00	22,02	10
	Fil de l'eau	9,16	0,00	0,00	19,17	
	État projeté	0,00	9,45	1,09	19,27	

Pour le dioxyde d'azote, les teneurs inhalées peuvent dépasser la valeur guide pour la protection de la santé, quel que soit le scénario d'exposition à Rmax (dont la localisation est à proximité immédiate de l'autoroute A8 et où aucun riverain n'est positionné) et au niveau des riverains les plus impactés sans le projet à l'état de référence (riverains localisés proches de l'A8).

Pour les particules PM10 et PM2.5, les teneurs inhalées dépassent les valeurs guide pour la protection de la santé humaine quel que soit l'état considéré à Rmax. Par ailleurs pour les PM2,5 les concentrations sont proches

de la valeur guide au niveau des riverains les plus impactés (présents actuellement ou avec les aménagements liés au projet) ; toutefois, il est important de noter que la valeur de fond représente au minimum 85 % des concentrations d'exposition.

Sur la base des données retenues (données de trafic et bruit de fond), un risque sanitaire à seuil associé au dioxyde d'azote ne peut être exclu pour les populations riveraines présentes actuellement et proche de l'autoroute A8. Avec le projet de la ZAC, ces riverains ne seront plus là et les futurs riverains seront localisées dans des zones où la valeur guide sera respectée.

Le projet ne devrait pas être à l'origine d'un dépassement des valeurs guide pour la protection de la santé humaine quelle que soit la localisation prévue pour les riverains, pour le dioxyde d'azote, les PM10 et les PM2.5

5.4.1.1.2 - Quotient de danger

Pour les substances disposant d'une VTR pour les effets à seuil par inhalation, le quotient de danger est calculé, à partir des concentrations d'exposition des populations (Tableau 41) et des VTR retenues (Tableau 35).

Au regard des résultats obtenus (Tableau 46) aucun indice de risque ne dépasse la valeur de 1, quel que l'état considéré. La valeur maximale est obtenue pour le chrome (QD = 0,25) quel que soit l'état considéré, au niveau des riverains et du Rmax. Nous notons toutefois que le bruit de fond considéré représente plus de 95 % du risque calculé (et donc de l'exposition).

Aucun risque sanitaire à seuil par inhalation n'est susceptible de se produire pour les populations riveraines. La réalisation du projet n'induit pas de risque supplémentaire pour les effets à seuil par inhalation.

TABLEAU 46 – QUOTIENT DE DANGER – EXPOSITION CHRONIQUE POUR LES EFFETS À SEUIL

		Quotient de danger			
Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Benzène BF = 0,68 µg/m³	État de référence	7,02E-02	0,00	0,00	7,83E-02
	Fil de l'eau	6,87E-02	0,00	0,00	7,26E-02
	État projeté	0,00	6,87E-02	8,21E-03	7,27E-02
1,3-Butadiène BF = 0,07 µg/m³	État de référence	4,15E-02	0,00	0,00	5,88E-02
	Fil de l'eau	3,66E-02	0,00	0,00	4,09E-02
	État projeté	0,00	3,65E-02	4,31E-03	4,11E-02
Nickel BF = 2,7 ng/m³	État de référence	3,00E-02	0,00	0,00	3,02E-02
	Fil de l'eau	3,01E-02	0,00	0,00	3,02E-02
	État projeté	0,00	3,01E-02	3,60E-03	3,02E-02
	État de référence	2,50E-01	0,00	0,00	2,51E-01

Quotient de danger

Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Chrome BF = 7,5 ng/m³	Fil de l'eau	2,50E-01	0,00	0,00	2,52E-01
	État projeté	0,00	2,51E-01	3,00E-02	2,52E-01
Arsenic BF = 0,4 ng/m³	État de référence	2,00E-02	0,00	0,00	2,01E-02
	Fil de l'eau	2,00E-02	0,00	0,00	2,02E-02
	État projeté	0,00	2,01E-02	2,40E-03	2,02E-02
Benzo(a)pyrène	État de référence	1,54E-02	0,00	0,00	5,71E-02
	Fil de l'eau	1,33E-02	0,00	0,00	5,01E-02
	État projeté	0,00	2,12E-02	1,26E-03	5,41E-02

5.4.1.2 - Polluants à effets sans seuil (risques cancérigènes)

Les résultats de l'évaluation des effets sans seuil (cancérigènes) pour une exposition chronique par inhalation sont calculés à partir des concentrations d'exposition des populations (Tableau 41) et des ERI retenues (Tableau 36). Au regard des résultats obtenus (Tableau 47) tous les Excès de Risque Individuel sont inférieurs à 1 sauf pour le chrome pour tous les scénarios de riverains étudiés et Rmax (hors groupe scolaire en raison d'un temps d'exposition moindre qu'au niveau des riverains).

Il est important de noter que pour le chrome, la teneur de fond retenue ($7{,}5.10^{-3}$ µg/m^3) conduit déjà un dépassement de la valeur repère de 10^{-5} ($1{,}28.10^{-4}$). Les ERI calculés sont donc essentiellement liés à la valeur du bruit de fond. Au niveau des riverains, le projet est à l'origine d'un apport supplémentaire maximum en chrome dans l'air de 0,000055 µg/m^3 correspondant à un ERI de $9{,}4.10^{-7}$. Les dépassements de la valeur de 10^{-5} pour le chrome ne sont donc pas imputables au projet. Par ailleurs, il a également été fait l'hypothèse majorante que le chrome est assimilé en totalité sous forme chrome VI (forme la plus préoccupant en terme de risque sanitaire).

Ainsi, sur la base des données et hypothèses retenues (notamment le bruit de fond), un risque cancérigène pour le chrome ne peut être exclu pour les populations riveraines dans les 3 états étudiés (état de référence, au fil de l'eau et projeté). Ce risque est indépendant du projet de la ZAC car il est lié au bruit de fond mesuré actuellement sur la zone d'étude.

Le projet de la ZAC ne sera pas à l'origine d'une augmentation du risque sanitaire cancérigène.

TABLEAU 47 – EXCÈS DE RISQUE INDIVIDUEL – EXPOSITION CHRONIQUE POUR LES EFFETS SANS SEUIL

Excès de Risque Individuel

Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Benzène BF = 0,68 µg/m³	État de référence	7,83E-06	0,00	0,00	8,73E-06
	Fil de l'eau	7,65E-06	0,00	0,00	8,09E-06
	État projeté	0,00	7,65E-06	2,44E-07	8,10E-06
1,3-Butadiène BF = 0,07 µg/m³	État de référence	6,04E-06	0,00	0,00	8,56E-06
	Fil de l'eau	5,33E-06	0,00	0,00	5,96E-06
	État projeté	0,00	1,42E-06	1,68E-07	5,98E-06
Nickel BF = 2,7 ng/m³	État de référence	3,01E-07	0,00	0,00	3,03E-07
	Fil de l'eau	3,01E-07	0,00	0,00	3,03E-07
	État projeté	0,00	3,02E-07	9,64E-09	3,03E-07
Chrome BF = 7,5 ng/m³	État de référence	1,29E-04	0,00	0,00	1,29E-04
	Fil de l'eau	1,29E-04	0,00	0,00	1,29E-04
	État projeté	0,00	1,29E-04	4,12E-06	1,30E-04
Arsenic BF = 0,4 ng/m³	État de référence	5,54E-07	0,00	0,00	5,57E-07
	Fil de l'eau	5,54E-07	0,00	0,00	5,57E-07
	État projeté	0,00	5,54E-07	1,77E-08	5,57E-07
Eq Benzo(a)pyrène	État de référence	1,53E-08	0,00	0,00	5,71E-08
	Fil de l'eau	1,36E-08	0,00	0,00	5,11E-08
	État projeté	0,00	2,09E-08	3,35E-10	5,51E-08

5.4.2 - Caractérisation du risque par ingestion

Pour la voie d'exposition par ingestion des polluants à effets à seuil, le quotient de danger se calcule par la formule suivante :

$$QD_o = \frac{DJE}{DJA}$$

Avec :

- DJE : dose journalière d'exposition exprimée en mg/kg pc/j ;
- DJA : dose journalière admissible (VTR relative à une exposition par ingestion) exprimée en mg/kg pc/j.

La valeur repère pour le quotient de danger est de 1. L'interprétation reste identique à celle présentée pour le risque par inhalation.

Le risque cancérogène pour une exposition par ingestion est estimé en calculant l'Excès de Risque Individuel (ERI), tel que :

$$\mathbf{ERIo = ERUo \times DJE \times T/Tm}$$

Avec :

- ERIo : Excès de Risque Individuel pour la voie d'exposition par voie orale ;
- ERUo : Excès de Risque Unitaire pour la voie d'exposition par voie orale ;
- DJE : Dose Journalière d'Exposition (Tableau 44) ;
- T : durée d'exposition en années (définie dans le Tableau 40) ;
- Tm : durée de vie fixée à 70 ans.

Le critère d'acceptabilité de l'Excès de Risque Individuel (ERI) est de 10^{-5} tel que présenté dans le chapitre précédent.

5.4.2.1 - Polluants à effets à seuil

Pour les substances disposant de VTR par ingestion, les quotients de danger concernant les effets à seuil sont calculés pour les 3 horizons étudiés à partir des doses journalières d'exposition des populations (Tableau 44) et des VTR retenues (Tableau 38).

TABLEAU 48 – QUOTIENT DE DANGER – EXPOSITION CHRONIQUE POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INGESTION

		Quotient de danger enfant
Traceurs de risques HAP	État	Nouveau Groupe scolaire
Benzo(a)pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	2,36E-05
Acénaphtène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,72E-06
Anthracène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	7,50E-08
Benzo(ghi)pérylène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	5,26E-07
Fluorène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	4,56E-07
Fluoranthène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	3,08E-06
Phénanthrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	6,66E-06
Pyrène	État de référence	0,00

		Quotient de danger enfant
Traceurs de risques HAP	État	Nouveau Groupe scolaire
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	3,42E-06

Au regard des résultats obtenus (Tableau 48) aucun quotient de danger ne dépasse la valeur de 1. Le quotient de danger maximum est de $2{,}36.10^{-5}$ (benzo(a)pyrène).

Aucun risque à seuil par ingestion pour une exposition chronique n'est susceptible de se produire pour les populations étudiées.

Le projet de la ZAC de la Constance n'induit pas de de risques supplémentaires pour les effets à seuil par ingestion.

5.4.2.2 - Polluants à effets sans seuil

Les excès de risque individuel concernant les effets sans seuil par ingestion sont calculés pour les 3 horizons étudiés à partir des doses journalières d'exposition des populations (Tableau 44) et des VTR retenues (Tableau 39).

TABLEAU 49 – EXCÈS DE RISQUE INDIVIDUEL – EXPOSITION CHRONIQUE POUR LES EFFETS SANS SEUIL PAR INGESTION

		Excès de Risque Individuel enfant
Traceurs de risques HAP	État	Nouveau Groupe scolaire
Eq Benzo(a)pyrène	État de référence	0,00
	Fil de l'eau	0,00
	État projeté	1,57E-09

Au regard des résultats obtenus (Tableau 49), l'excès de risque individuel en eq benzo(a)pyrène est nettement inférieurs à la valeur repère de 10^{-5}.

Aucun risque sans seuil par ingestion pour une exposition chronique n'est susceptible de se produire pour les populations étudiées.

Le projet de la ZAC de la Constance n'induit pas de risques supplémentaires pour les effets sans seuil par ingestion.

5.5 - Caractérisation de risques sanitaires en exposition aiguë

5.5.1 - Méthodologie

Pour les polluants faisant suite à une exposition aiguë par inhalation, la possibilité d'effets toxiques pour les populations exposées est matérialisée par le calcul du Quotient de Danger (QD), selon la formule suivante :

QD = CI / VTR

Avec :

- CI : concentration maximale inhalée, exprimée en µg/m^3 d'air inhalé,
- VTR : valeur toxicologique de référence pour les effets à seuil choisie dans cette évaluation, exprimée en µg/m^3 d'air inhalé, pour une exposition aiguë par inhalation.

En termes d'interprétation, lorsque le quotient de danger est inférieur à 1, la survenue d'effet à seuil paraît peu probable, même pour les populations sensibles. Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'effets ne peut être exclue.

5.5.2 - Caractérisation du risque sanitaire aigu

Le risque sanitaire en exposition aigu est calculé pour les 3 horizons étudiés à partir des concentrations d'exposition des populations (Tableau 42) et des VTR retenues (Tableau 37).

Pour tous les polluants et les différents scénarios étudiés, les quotients de danger calculés dans le Tableau 50 sont tous inférieurs à 1. La valeur maximale concerne les PM2.5 (QD = 0,9) au niveau de Rmax et (QD = 0,49) au niveau des populations les plus impactées.

Aucun risque aigu n'est susceptible d'apparaitre pour les populations étudiées quelle que soit la substance considérée et quel que soit le scénario étudié.

TABLEAU 50 – QUOTIENT DE DANGER – EXPOSITION AIGUË PAR INHALATION

Traceurs de risque	État	Riverains les plus impactés sans le projet	Riverains les plus impactés avec le projet	Nouveau Groupe scolaire	Rmax
Dioxyde d'azote **BF = 21,6 µg/m³**	État de référence	3,73E-01	0,00	0,00	4,29E-01
	Fil de l'eau	2,21E-01	0,00	0,00	3,66E-01
	État projeté	0,00	2,16E-01	1,84E-01	3,64E-01
PM10 **BF = 13,4 µg/m³**	État de référence	3,47E-01	0,00	0,00	5,73E-01
	Fil de l'eau	3,09E-01	0,00	0,00	4,27E-01
	État projeté	0,00	3,25E-01	2,98E-01	4,28E-01
PM2.5 **BF = 8,67 µg/m³**	État de référence	4,89E-01	0,00	0,00	9,00E-01
	Fil de l'eau	4,02E-01	0,00	0,00	5,61E-01
	État projeté	0,00	4,34E-01	3,90E-01	5,65E-01

5.6 - Revue des incertitudes

L'évaluation des risques sanitaires constitue un outil d'aide à la décision permettant d'apprécier l'impact sanitaire d'une infrastructure routière sur les populations exposées.

Ces résultats font l'objet d'incertitudes conduisant à une sous-estimation ou à une surestimation des risques calculés, liées notamment aux connaissances scientifiques sur les polluants et les VTR, à l'évaluation des teneurs issues de la modélisation et au choix des hypothèses retenues.

L'analyse des incertitudes a pour objet d'apprécier leurs influences sur les résultats de l'évaluation des risques sanitaires.

5.6.1 - Facteurs de sous-estimation des risques

Les incertitudes qui portent sur cette évaluation et qui conduisent à sous-estimer les risques sont les suivantes :

- **Voies d'exposition**

  Dans cette étude, l'exposition par voie cutanée n'a pas été prise en compte, ce qui peut constituer une sous-estimation potentielle des risques calculés. Néanmoins, peu de VTR existent pour cette voie et l'extrapolation d'une VTR à partir d'une autre voie est entachée d'incertitude. De plus, l'absorption cutanée des gaz est négligeable devant absorption par voies respiratoires ;

5.6.2 - Facteurs de sur-estimation des risques

Les incertitudes qui portent sur cette évaluation et qui conduisent à surestimer les risques sont les suivantes :

- **Spéciation du chrome**

  En l'absence de données précises sur la part relative des formes organiques et inorganiques, les émissions de chrome ont été totalement affectées au chrome VI, forme la plus préoccupante en termes de risque sanitaire ;

- **Choix des VTR**

  Les VTR retenues dans le cadre de cette étude, en conformité avec les préconisations de l'InVS et de la note de la DGS du 31 octobre 2014, peuvent être considérées comme bénéficiant d'un degré de confiance élevé. Des facteurs de sécurité sont systématiquement appliqués (pour l'extrapolation inter-espèces, pour les populations sensibles, la qualité des données sources, etc.) sur ces VTR établies par les grandes instances internationales de la santé. Leur application conduit donc généralement à une surestimation des risques ;

- **Teneur de fond**

  Les teneurs de fond retenues ont été extrapolées à l'année 2033 (état au fil de l'eau et état projeté) sans aucune variation alors que l'on peut raisonnablement espérer une diminution des valeurs de fond des principaux polluants atmosphériques compte tenu des évolutions réglementaires et efforts technologiques à venir.

- **Scénarii d'exposition**

  Dans la présente étude et en l'absence de connaissances précises du budget espace-temps des populations étudiées, nous avons retenu des paramètres d'exposition relativement majorants pour les populations de riverains.

5.6.3 - Facteurs d'incertitude dont l'influence sur le résultat n'est pas connue

Les incertitudes qui portent sur cette évaluation et dont le sens d'influence n'est pas connu sont les suivantes :

- **Teneurs de fond**

  Les teneurs de fond retenues sont issues des mesures réalisées par Egis, sur la zone d'étude, lors d'une campagne de mesures ayant eu lieu en octobre 2019 (mesures sur 4 semaines de tous les polluants faisant l'objet de cette étude). Dans l'impossibilité de pouvoir réaliser d'autre campagne de mesures en raison des exigences de planning, nous avons assimilé le résultat de ces mesures à une moyenne annuelle.

- **Teneurs en polluant**

  Nous avons considéré que les teneurs étaient identiques à l'extérieur et à l'intérieur des bâtiments, ce qui n'est probablement pas le cas. L'influence de ces hypothèses sur les risques sanitaires est difficilement appréciable ;

- **Risque global**

  Les substances interagissent les unes par rapports aux autres. Si la connaissance des effets sur la santé liés à l'inhalation de chacune d'entre elles a beaucoup avancé, ce n'est pas encore le cas pour l'ensemble des substances. Les méthodes disponibles pour quantifier les risques sanitaires liés à l'exposition simultanée de plusieurs polluants (additivité des risques) sont encore limitées et il reste difficile de savoir si les effets sanitaires sont antagonistes, synergiques ou additifs.

5.6.4 - Synthèse des facteurs d'incertitude

Il ressort de l'examen des incertitudes que les facteurs qui minorent le risque seraient peu nombreux et qu'ils induiraient probablement une sous-estimation non significative des risques sanitaires estimés. Il semble donc raisonnable de conclure que **les hypothèses retenues amènent à une probable surestimation du risque**.

Toutefois, les résultats de cette ERS doivent être appréciés en l'état des connaissances disponibles aussi bien méthodologiques que descriptives. Les données et les méthodes de calculs utilisées ont été présentées et les choix ont été justifiés.

5.7 - Conclusion

La réalisation du projet de la ZAC de la Constance n'induit pas de risque sanitaire supplémentaire pour les effets chroniques à seuil ou sans seuil par inhalation ou par ingestion, ni pour les effets aigus par inhalation.

Aucun risque à seuil par inhalation ou par ingestion pour une exposition chronique n'est susceptible de se produire pour les populations situées dans la bande d'étude du projet. Néanmoins, à proximité immédiate de l'autoroute A8 (Rmax pas de riverains) certains polluants peuvent dépasser les valeurs sanitaires. Au niveau des riverains les plus impactés dans l'état actuel, les teneurs inhalées dépassent la valeur guide de l'OMS pour le dioxyde d'azote. Dans l'état projeté ces riverains ne seront plus là et les futurs riverains seront localisées dans des zones où la valeur guide sera respectée. Globalement sur la zone d'étude, les concentrations en PM2,5 sont proches de la valeur guide de l'OMS, toutefois la teneur en bruit de fond retenue représente à minima 85 % de la concentration d'exposition.

Le risque cancérigène lié à une exposition chronique peut être qualifié d'acceptable pour les populations situées dans la bande d'étude du projet (hormis les populations sensibles étudiées – nouveau groupe scolaire - en raison du temps d'exposition retenu moindre que celui des résidents permanents), quelle que soit la substance prise individuellement, excepté pour le chrome par inhalation, pour les 3 états étudiés (état actuel, au fil de l'eau et projeté). Toutefois ce risque n'est pas imputable au projet de la ZAC car il est lié au bruit de fond retenu (issu de la valeur mesurée dans la zone d'étude) ; par ailleurs, il est fait l'hypothèse que le chrome est assimilé en totalité à du chrome VI (substance la plus préoccupante en terme de risque sanitaire).

En exposition aiguë aucun risque sanitaire n'est susceptible de se produire pour les populations étudiées quelle que soit la substance considérée et quel que soit le scénario étudié.

6 - ÉVALUATION DE L'IMPACT DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR L'ENVIRONNEMENT

Ce chapitre contient quatre thématiques qui ne sont pas directement traités dans les impacts sur :

- La qualité de l'air : chapitre 3.2 - Évaluation de l'impact du projet sur la qualité de l'air ;
- Les populations : chapitre 2.1.1 - Densité et population générale ;
- La santé : chapitre 5 - Évaluation quantitative des risques sanitaires.

Ces thématiques concernent :

- Pollution sensible (liée à la perception) :
  - Odeurs ;
  - Transparence de l'air ;
  - Nuages de poussières ;
- Impacts de la pollution atmosphérique sur :
  - Le sol ;
  - La flore ;
  - La faune ;
  - Les bâtiments ;
  - L'économie ;
- Les émissions de dioxyde de carbone (CO_2) issues de la circulation routières et assimilées aux émissions de GES ;
- La consommation énergétique liée au trafic routier.

Les deux premiers items sont traités en fonction des sources bibliographiques existantes, les deux suivants sont les résultats des calculs des émissions sur le réseau routier retenu et les trafics étudiés.

6.1 - Pollution sensible

6.1.1 - Odeurs

De très nombreuses molécules odorantes sont présentes dans l'air. À concentration suffisante, elles deviennent perceptibles par les récepteurs olfactifs de la paroi nasale et engendrent une réponse émotionnelle (agréable ou non, sucrée, aigre, etc.), une réponse affective (souvenirs, faim, stress, etc.) avant la réponse descriptive (odeur de vanille, d'herbes sèches ou d'ordures).

La perception très fréquente d'odeurs fortes et/ou désagréables engendre un trouble important, source du deuxième motif de plainte après le bruit. Ainsi l'odeur acide, nauséabonde… est souvent associée à un risque sanitaire, mais ce rapprochement est le plus souvent sans fondement puisque les composés odorants perçus sont présents à des niveaux inférieurs aux valeurs limites d'exposition (VLE).

Cette perception chronique, bien qu'inoffensive directement, peut provoquer un stress entrainant des conséquences sur la santé (troubles respiratoires, nausées, vomissements, troubles du sommeil, etc.).

Trois types d'activités principales sont génératrices d'odeurs :

- Les émissions industrielles :
  - Activités liées à l'énergie (pétrochimie, combustion de gaz de charbon, pétrole) ;
  - Activités chimiques (chimie minérale, organique ou inorganique) ;
  - Activités de l'industrie du bois, du papier et de la viscose ;
  - Activités des industries de l'agroalimentaire (préparation d'aliments : sucres, levures alimentaires…) ;

- Les déchets d'origine :
  - Végétale : compostage, algue verte ;
  - Animale : carcasses d'animaux, déchets de poissons, fumier, épandage ;
  - Anthropique : déchets ménagers et industriels ;
- Les installations de traitement des eaux usées :
  - Réseaux de collecte et d'assainissement ;
  - Stations d'épuration urbaines et industrielles.

Par conséquent, un réseau routier et le trafic associé ne sera pas générateur d'odeurs hormis celles chroniques des échappements (liées à la combustion incomplète des carburants) ou occasionnelles suite au passage d'un transport de boues de stations d'épuration, d'ordures ménagères…

6.1.2 - Transparence de l'air

Des conditions météorologiques anticycloniques, en particulier en hiver, apportent une situation de vents calmes favorisant la stagnation au-dessus des zones géographiques fortement émissives (régions industrielles, métropoles). Il peut ainsi apparaître des cloches de pollution visibles de loin, voire des nuages opacifiant plus ou moins le ciel (*cf.* Figure 31), comme le smog (contraction anglaise de smoke – fumée et fog – brouillard). Ce smog peut provoquer des atteintes plus ou moins importantes sur la santé, en témoigne l'épisode de smog à Londres du 5 au 9 décembre 1952 à l'origine de plus de 4 000 morts dans les semaines suivantes.

FIGURE 31 – COMPARAISON DE SITUATION SANS ET AVEC UNE POLLUTION PROVOQUANT UN SMOG À PARIS

Source : Carlos Moreno

Ces niveaux de transparence, plus ou moins marqués, reflètent la qualité de l'air, et aussi sa dégradation, mesurée par les stations des AASQAs. Pour l'étude en cours, cet état des lieux est présenté au paragraphe 2.3.1.1 - Réseau de surveillance.

6.1.3 - Nuages de poussière

Les nuages de poussière sont des phénomènes occasionnels dont l'origine repose sur des conditions météorologiques spécifiques. Il s'agit de vents dont les vitesses sont supérieures à 15-20 km/h soufflant sur des sols instables : dune, plage, champ avant végétalisation et durant des phases d'exploitation, chantier, carrière, stockage de matériau de granulométrie fine…

Ces nuages de poussière naissent ainsi du ré-envol des particules (*cf.* Figure 32). Plus les vitesses des vents augmentent, plus la granulométrie des poussières augmentent également.

FIGURE 32 – RÉ-ENVOL DES RÉSIDUS DE STOCKAGE D'UNE USINE DE PRODUCTION D'ALUMINES

Source : Jean-Claude Monet

6.2 - Pollution atmosphérique et environnement

6.2.1 - Effets sur les sols

Lorsque le sol devient plus acide, sa capacité à retenir de nombreux nutriments, minéraux et éléments essentiels, comme le calcium (Ca), le magnésium(Mg) et le potassium(K), diminue. Ces derniers sont donc transportés par l'eau qui s'écoule à travers le sol et les rend moins disponibles pour les organismes qui y vivent.

De même, l'augmentation de l'acidité du sol peut accroître la mobilité des métaux lourds qui s'y trouvent et qui s'écoulent alors plus facilement dans les lacs, les cours d'eau et les ruisseaux.

6.2.2 - Effets sur la flore

Les polluants atmosphériques ont des impacts importants sur les cultures et les écosystèmes, de manière chronique (poussières sur les feuilles limitant la photosynthèse) ou de manière aiguë (action agressive engendrant ou permettant l'action de maladies).

6.2.2.1 - L'ozone

Ce polluant, particulièrement, possède des propriétés oxydantes impactant fortement la végétation. La plupart des végétaux sont sensibles à l'ozone, à des degrés divers cependant. Parmi les plantes cultivées, les plus vulnérables sont blé, le soja, la laitue, l'oignon, la tomate, le tournesol et certaines légumineuses comme le haricot.

L'ozone provoque ainsi des dégâts spectaculaires au niveau des feuilles, l'exposition de la végétation à des concentrations très fortes mais ponctuelles d'ozone entrainent des tâches ou des nécroses (*cf.* Figure 33). Cet impact reste limité aux feuilles endommagée et cesse après le pic de pollution. D'une manière plus insidieuse, l'ozone agit sur la réduction de la photosynthèse et l'augmentation de la respiration, affaiblissant ainsi les organismes et diminuant la croissance des plantes. À titre d'exemple, la pollution atmosphérique à l'ozone a réduit de 10 % sur une quinzaine d'années les rendements du blé en Île-de-France.

FIGURE 33 – IMPACT FOLIAIRE DE L'OZONE

Source : Atmo Nouvelle-Aquitaine

6.2.2.2 - Les pluies acides

Les polluants atmosphériques, portés par les vents, peuvent parcourir de longues distances et impacter des écosystèmes sensibles et éloignés des sources d'émissions. Sous l'effet des oxydes d'azote (NOx) et du dioxyde de soufre (SO_2), les précipitations (pluies et neiges) et le brouillard deviennent plus acides et altèrent alors les sols et les cours d'eau, entrainant un déséquilibre des écosystèmes et un appauvrissement de la biodiversité. Les forêts de conifères sont particulièrement sensibles aux pluies acides (*cf.* Figure 34).

FIGURE 34 – IMPACT DES PLUIES ACIDES SUR UNE FORÊT DE CONIFÈRES

Source : Atmo Nouvelle-Aquitaine

6.2.2.3 - Les bio-indicateurs

Certaines plantes sensibles à la pollution atmosphérique sont utilisées comme outils d'évaluation dans les programmes de recherches. C'est ainsi le cas pour :

- Les lichens, inexistants dans les secteurs géographiques où la pollution atmosphérique est avérée ;
- Le tabac et certains trèfles, très sensibles à l'ozone (réaction foliaire quelques heures après une exposition forte), utilisés comme outils d'alerte ;
- Les mousses, marqueurs des métaux ;
- …

6.2.3 - Effets sur la faune

La pollution atmosphérique peut être préjudiciable à la faune de deux principales façons :

- La détérioration de la qualité de l'environnement ou de l'habitat des espèces ;
- La diminution de la disponibilité et de la qualité de l'approvisionnement alimentaire.

Les pluies acides altèrent la qualité des cours d'eau et des plans d'eau en modifiant la composition chimique des eaux et en favorisant le lessivage des métaux lourds, très toxiques pour la faune aquatique. Le smog, les poussières, l'ozone, etc. par leurs effets sur la flore perturbe les milieux favorables aux espèces, entrainant parfois jusqu'à leur disparition.

Stockés par les végétaux à l'origine de la chaîne alimentaire, les polluants sont ensuite et successivement ingérés et emmagasinés dans les tissus par les différentes espèces animales. Ce processus est nommé bioaccumulation. Ces polluants peuvent être toxiques pour les animaux en :

- Perturbant leur fonction endocrinienne ;
- Endommageant leurs organes ;
- Accroissant leur vulnérabilité au stress et à la maladie ;
- Diminuant leur succès de reproduction ;
- Causant possiblement leur mort.

Les changements dans l'abondance d'une espèce causés par la pollution atmosphérique peuvent grandement influer sur l'abondance (augmentation ou diminution) et la santé des espèces dépendantes y compris l'espèce humaine.

Le déclin des espèces polinisatrices est un exemple connu des effets sur la faune de la pollution atmosphérique, plus précisément des effets des produits phytosanitaires aérosols.

6.2.4 - Effets sur les bâtiments

On observe, davantage dans les zones urbanisées, une dégradation physique et esthétique des bâtiments anciens et des statues. Il apparaît ainsi une alternance de zones sombres et claires (*cf.* Figure 35).

Les zones sombres sont formées s'une pellicule de suies associées à des faibles quantités de sulfates et de carbonates. Elles sont à l'abri de la pluie et ces zones ne sont donc pas lessivées par les précipitations, d'où leur teinte. Les zones claires, elles, sont lessivées par les eaux. Le matériau de construction est alors mis à nu et parfois érodé.

Les verres des fenêtres et des façades des immeubles contemporains souffrent moins, leur composition étant chimiquement plus stable. Toutefois, la pluie peut laisser des traces légèrement opacifiantes. Les vitraux anciens sont attaqués par les pluies jusqu'à des niveaux de corrosion avancés.

FIGURE 35 – IMPACT DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LES MATÉRIAUX

Source : Airparif

6.2.5 - Effets sur l'économie

En 2012, le Commissariat Général au Développement durable estimait le coût de la pollution atmosphérique par les particules sur la santé entre 20 et 30 milliards d'euros par an dont plus de la moitié imputable à la mortalité. Plus récemment, la Commission d'enquête du Sénat et le rapport de l'OCDE aboutissait à des tendances similaires malgré des divergences de chiffres, avec respectivement par année 67 à 98 milliards pour le coût total de la pollution de l'air (Sénat) et 51 milliards pour la seule mortalité liée à la pollution aux particules fines (OCDE).

Au-delà des décès, les maladies dues à la pollution de l'air impactent principalement le système de soin : l'asthme, les bronchites aiguës et chroniques, les pneumopathies et les cancers des voies respiratoires.

6.3 - Gaz à effet de serre

Les polluants atmosphériques n'ont pas uniquement des effets négatifs sur l'homme et l'environnement. Ils influencent aussi directement indirectement le climat.

6.3.1 - Dérèglement climatique

Au cours du XX^{ème} siècle, le réchauffement général de la planète a été de +0,5 °C. Suivant les engagements de la COP21, à savoir limiter le réchauffement mondial moyen bien en deçà de 2 °C, tout en poursuivant les efforts pour limiter le réchauffement à 1,5 °C d'ici 2100, la persistance et l'amplification de ce phénomène est prévisible. Il conduirait, entre autres conséquences, à la fonte des glaciers et l'élévation du niveau moyen des mers.

Les émissions de Gaz à Effet de Serre – GES augmentent les quantités déjà présentes dans l'atmosphère et conséquemment accentuent le réchauffement climatique global de la planète, d'après le GIEC. Pour autant, il n'existe aucune certitude sur l'importance et les conséquences de ce réchauffement global. Toutefois, les scientifiques s'accordent sur certaines perspectives éventuelles :

- Climat – multiplication d'évènements météorologiques extrêmes (tempêtes, inondations, sécheresses, etc.) ;
- Environnement – fonte des glaces, augmentation de l'élévation des mers, modification des grands courants marins, extinction d'espèces animales et végétales, migrations climatiques animales et humaines, etc. ;
- Alimentation – diminution et perte de fertilité des sols, chute des productions agricoles, déplacements des zones de production, risque de famines ;
- Santé – développement de maladies transmises par des agents vecteurs, augmentation des affections cardio-respiratoires en lien avec le stress thermique, intensification des problèmes sanitaires pour les plus vulnérables, etc.

6.3.2 - Actions des GES

Les Gaz à Effet de Serre sont les gaz qui absorbent une partie des rayons solaires en les redistribuant sous la forme de radiations qui rencontrent d'autres molécules de gaz, répétant ainsi le processus et créant l'effet de serre, avec augmentation de la température. Les GES ont pour origine première les activités humaines et les combustibles fossiles.

Les principaux GES sont :

- La vapeur d'eau – H_2O – produit par l'évaporation des masses d'eau ;
- Le dioxyde de carbone – CO_2 – produit par la combustion de combustibles fossiles et la déforestation ;
- Le méthane – CH_4 – présent par la décomposition anaérobie de composés organiques (ruminants, rizières, décharges, etc.) et la pyrolyse des composés carbonés ;
- Le protoxyde d'azote – N_2O – produit par l'industrie chimique et les produits azotés ;

- Les hydrocarbures fluorés – HFC, PFC, SF_6, CFC et HCFC – présents dans les gaz réfrigérants et divers procédés industriels (expansion des mousses plastiques, composants électroniques, appareillage haute tension, électrolyse de l'alumine, etc.) ;
- L'ozone – O_3 – produit par réaction des COV et des oxydes d'azote.

Toutefois la vapeur d'eau et l'ozone ne sont pas pris en compte dans les évaluation s des Gaz à Effet de Serre.

Ces différents GES ont un impact plus ou moins important sur le climat. Afin de pouvoir les comparer, les émissions de GES sont exprimées dans une unité commune : le CO_{2e}, c'est-à-dire en équivalent CO_2. Un indicateur d'impact – le Potentiel de Réchauffement Global (PRG) – a été créé. Il permet de classer l'impact des GES comparativement à l'impact du CO_2, et ce, à une échéance de 100 ans.

L'indicateur PRG signifie que :

1 gramme d'un GES ayant un PRG de n sera équivalent à n gramme de CO_2

Les indicateurs PRG des différents Gaz à Effet de Serre évoluent régulièrement puisqu'ils dépendent :

- Des concentrations des divers GES déjà présents dans l'atmosphère et qui évoluent continuellement ;
- Des cycles naturels des gaz considérés qui conditionnent leur durée de vie dans l'air.

La durée de vie du CO_2 étant de 100 ans, on considère généralement cette échéance pour exprimer l'impact des GES.

Les PRG des principaux GES sont détaillés dans le Tableau 51. Ces valeurs signifient que le méthane d'origine fossile, par exemple, aura une action 30 fois supérieure à celle du dioxyde d'azote ou que celle du CFC sera de 4 660 à 13 900 fois supérieure à celle du CO_2 (en fonction de la molécule de CFC considérée).

TABLEAU 51 – TABLEAU DES PRINCIPAUX PRG À 100 ANS

Nom du gaz	PRG à 100 ans
Dioxyde de carbone fossile - CO_2	1
Méthane biogénique - CH_{4b}	28
Méthane fossile - CH_{4f}	30
Protoxyde d'azote - N_2O	265
Hexafluorure de soufre - SF_6	23 500
HFC	138 à 12 400
PFC	6 630 à 11 100
CFC	4 660 à 13 900
HCFC	79 à 1 980

Source : 5 ème rapport du GIEC

Les GES ont un effet primordial sur la destruction de l'ozone stratosphérique, en particulier par l'action de composés chimiques à base de chlore et de brome, tels que les chlorofluorocarbones (CFC) ou les bromures de méthyle (CH_3Br), résultant des activités humaines et participant ainsi à la destruction de la couche d'ozone stratosphérique, notamment au-dessus des pôles. Cette couche naturelle limite l'arrivée de certains rayons ultra-violets néfastes pour notre santé et notre environnement.

En effet, une augmentation du flux de rayons UV atteignant la surface terrestre suite à une diminution de la concentration en ozone dans la haute atmosphère pourrait avoir de graves conséquences sur les êtres vivants, à savoir :

- Pour l'environnement :
  - Réduction de la taille des feuilles ;
  - Diminution de la photosynthèse ;

- Impact sur le rendement et la qualité des cultures ;
- Disparition du plancton ;

- Pour l'homme :
  - Brûlures superficielles ;
  - Atteintes oculaires ;
  - Augmentation des cancers et vieillissement de la peau ;
  - Maladies du système immunitaire ;
  - …

6.3.3 - Calcul des émissions de GES liées au projet

La méthodologie Copert 5 (*cf.* chapitre 3.1.2 - Évaluation des émissions routières) ne permet pas de calculer l'ensemble des émissions de Gaz à Effet de Serre induites par le trafic routier retenu. Seules les émissions de dioxyde de carbone sont calculées.

Les émissions routières pour le dioxyde de carbone ont été évaluées pour chacun des tronçons du réseau routier, pour l'***État de référence*** (ER) à l'horizon 2013, pour le ***Fil de l'eau*** (FE) et l'***État projeté*** (EP) à l'horizon 2033. Elles sont présentées dans le Tableau 55.

Dans ce tableau, les pourcentages correspondent aux écarts relatifs entre :

- L'État de référence 2013 et le Fil de l'eau 2033 (noté (FE-ER)/ER) ;
- Le Fil de l'eau 2033 et l'État projeté 2033 (noté (EP-FE)/FE.

TABLEAU 52 – BILAN DES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE DU RÉSEAU ROUTIER ÉTUDIÉ (EN KG/JOUR)

Groupe de tronçons	État de référence 2013	Fil de l'eau 2033	État projeté 2033	Évolution (FE-ER)/ER	Évolution (EP-FE)/FE
A51	35471.50	36372.80	36372.80	3%	0%
A8	19148.80	22594.70	22594.70	18%	0%
VoieA	52.21	53.92	146.32	3%	63%
VoieB			37.28		100%
VoieC	172.02	172.70		0%	-100%
VoieCbis	30.68	30.97	45.92	1%	33%
VoieD	427.23	443.97	209.64	4%	-112%
VoieE	357.43	371.44	27.40	4%	-1256%
VoieF	428.0	454.5	389.0	6%	-17%
VoieG	88.5295	89.3737	172.334	1%	48%
VoieH			347.956		100%
VoieI_Bus			102.573		100%
VoieJ			555.388		100%
VoieK			237.884		100%
VoieL			152.571		100%
VoieM			260.398		100%
VoieN			54.7759		100%
VoieO			604.29		100%
VoieP			1168.85		100%
VoieQ			284.61		100%
TOTAL	**56176.44**	**60584.35**	**63764.66**	**8%**	**5%**

Source : Egis

Ces résultats témoignent d'une augmentation des émissions de dioxyde de carbone entre l'***État de référence*** et les situations au ***Fil de l'eau***. Cette augmentation est directement liée à l'augmentation du kilométrage parcouru (+ 10%).

Les émissions de dioxyde de carbone augmentent entre les situations au ***Fil de l'eau*** et l'***États projeté***. Cette augmentation est directement corrélée avec la hausse du kilométrage parcouru (+6 %).

6.4 - Consommation énergétique

Les calculs de consommation énergétique sont réalisés avec Copert 5 suivant la méthodologie précisée dans le chapitre 3.1.2 - Évaluation des émissions routières. Par conséquent, cette consommation est étroitement liée au parc roulant utilisé et les incertitudes sur la réalité de ce parc se reportent sur les résultats des calculs de consommation énergétique.

Les calculs ne prennent en compte que le réseau routier retenu. Les consommations énergétiques sont reportées dans le Tableau 57.

Ces résultats témoignent d'une augmentation de la consommation d'énergie entre l'***État de référence*** et les situations au ***Fil de l'eau***. Cette augmentation est directement liée à l'augmentation du kilométrage parcouru (+ 10%).

La consommation d'énergie augmente entre les situations au ***Fil de l'eau*** et l'***États projeté***. Cette augmentation est directement corrélée avec la hausse du kilométrage parcouru (+6 %).

TABLEAU 53 – CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE (EN KG/JOUR)

Groupe de tronçons	État de référence 2013	Fil de l'eau 2033	État projeté 2033	Évolution (FE-ER)/ER	Évolution (EP-FE)/FE
A51	11191.60	11475.90	11475.90	3%	0%
A8	6041.62	7128.85	7128.85	18%	0%
VoieA	16.47	17.01	46.16	3%	63%
VoieB			11.76		100%
VoieC	54.27	54.49		0%	-100%
VoieCbis	9.68	9.77	14.49	1%	33%
VoieD	134.79	140.08	66.14	4%	-112%
VoieE	112.77	117.19	8.64	4%	-1256%
VoieF	135.1	143.4	122.7	6%	-17%
VoieG	27.9319	28.1982	54.373	1%	48%
VoieH			109.783		100%
VoieI_Bus			32.3628		100%
VoieJ			175.23		100%
VoieK			75.0545		100%
VoieL			48.1376		100%
VoieM			82.1578		100%
VoieN			17.2823		100%
VoieO			190.659		100%
VoieP			368.784		100%
VoieQ			89.7972		100%
TOTAL	**17724.20**	**19114.88**	**20118.30**	**8%**	**5%**

Source : Egis

7 - LES MESURES ET LA DÉMARCHE ERC « EVITER, RÉDUIRE, COMPENSER »

7.1 - Doctrine ERC - Généralités

La doctrine nationale relative à la « séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel », qui sera par la suite nommée doctrine ERC, fait partie intégrante d'une étude d'impact.

Les questions environnementales doivent faire partie des données de conception des projets au même titre que les autres éléments techniques, financiers... Cette conception doit tout d'abord s'attacher à éviter les effets sur l'environnement, y compris au niveau des choix fondamentaux liés au projet (nature du projet, localisation, voire opportunité). Cette phase est essentielle et préalable à toutes les autres actions consistant à minimiser les effets environnementaux des projets, c'est-à-dire à réduire au maximum ces effets et en dernier lieu, si besoin, à compenser les effets résiduels après évitement et réduction. On parle de séquence « Éviter, Réduire, Compenser ».

La doctrine ERC concerne l'ensemble des thématiques de l'environnement, et notamment les milieux naturels. La doctrine s'applique, de manière proportionnée aux enjeux, à tous types de plans, programmes et projets dans le cadre des procédures administratives de leur autorisation (étude d'impact et autorisation unique notamment).

7.1.1 - Éviter

Pour concevoir un projet de moindre impact environnemental, la doctrine indique que « les procédures de décision publique doivent permettre de privilégier les solutions respectueuses de l'environnement, en apportant la preuve qu'une décision alternative plus favorable à l'environnement est impossible à coût raisonnable et de limiter la consommation des surfaces agricoles, forestières et naturelles. Dans cet esprit, on privilégie les espaces déjà artificialisés dans le choix d'implantation du projet, lorsque c'est possible. Il est souhaitable que le projet déposé soit celui présentant, au regard des enjeux en présence, le moindre impact sur l'environnement à coût raisonnable ».

Les mesures de suppression ou d'évitement s'inscrivent dans la mise au point d'un projet avec la recherche du tracé ou des aménagements de moindre effet sur l'environnement. Ces mesures sont donc généralement mises en œuvre ou intégrées dans leur conception :

- Soit en raison du choix d'un parti d'aménagement qui permet d'éviter un effet jugé intolérable pour l'environnement ;
- Soit en raison de choix technologiques permettant de supprimer des effets à la source (utilisation d'engins ou de techniques de chantier particuliers...).

7.1.2 - Réduire

Selon la doctrine ERC, « ... la réduction intervient dans un second temps, dès lors que les impacts négatifs sur l'environnement n'ont pu être pleinement évités. Ces impacts doivent alors être suffisamment réduits, notamment par la mobilisation de solutions techniques de moindre impact à un coût raisonnable, pour ne plus constituer que des impacts négatifs résiduels les plus faibles possibles ».

Les mesures de réduction (on parle aussi de mesures correctives ou mesures d'atténuation) sont mises en œuvre quand un effet négatif ou dommageable ne peut être supprimé totalement lors de la conception. Elles visent à atténuer les effets négatifs d'un projet sur le lieu et au moment où ils se développent. Elles concernent par exemple (liste non exhaustive) :

- La conception technique du projet : intégration d'aménagements spécifiques ou mixtes (passage en souterrain par exemple, parois moulés, etc.) ;
- La phase chantier avec le calendrier de sa mise en œuvre et son déroulement ;
- L'exploitation et l'entretien des aménagements (mise au point de règles d'exploitation et de gestion spécifiques).

7.1.3 - Compenser

La doctrine ERC précise enfin que « lorsque le projet n'a pas pu éviter les enjeux environnementaux majeurs et lorsque les effets n'ont pas été suffisamment réduits, c'est-à-dire qu'ils peuvent être qualifiés de significatifs, il est nécessaire de définir des mesures compensatoires. […] Les mesures compensatoires ont pour objet d'apporter une contrepartie aux effets résiduels négatifs du projet (y compris les effets résultant d'un cumul avec d'autres projets) qui n'ont pu être évités ou suffisamment réduits. »

Les mesures compensatoires ne sont pas des mesures financières mais de travaux, de pratiques, de gestion (conservatoire et/ou de restauration) ou de processus immatériels (exemple : formation ou sensibilisation des usagers ou gestionnaires des sites). Elles doivent donc théoriquement rétablir une situation d'une qualité globale proche de la situation antérieure ou un état de l'environnement jugé normal ou idéal.

Elles peuvent ainsi se définir comme tous travaux, actions et mesures :

- Ayant pour objet d'apporter une contrepartie aux conséquences dommageables qui n'ont pu être évitées ou suffisamment réduites ;
- Justifiés par un impact direct ou indirect clairement identifié et évalué ;
- S'exerçant dans le même domaine, ou dans un domaine voisin, que celui touché par le projet ;
- Intégrés au projet mais pouvant être localisés, s'il s'agit de travaux, hors de l'emprise finale du projet et de ses aménagements connexes.

7.2 - Incidences du projet sur la qualité de l'air et mesures associées

7.2.1 - Effets en phase chantier et mesures associées

7.2.1.1 - Effets

Le chantier peut être à l'origine de divers types de pollution de l'air ou de nuisances plus ou moins importantes pour le voisinage :

- Les émissions de poussières sur les pistes et plateformes de chantier, principalement pendant la phase de terrassement ;
- Les pollutions liées au fonctionnement des engins (gaz d'échappement).

En effet, durant la phase travaux, le recours aux engins de chantier pourra engendrer des émissions atmosphériques (ex : particules, NOx, CO, …). De plus, les reports de trafics induits sur certains axes peuvent également entraîner une augmentation des émissions.

7.2.1.2 - Mesures

En phase chantier, la production de poussières pourra être diminuée par des dispositions telles que :

- L'aspersion des pistes et des zones de terrassement par temps sec,
- Le respect des vitesses de circulation afin de limiter le soulèvement de poussière,
- L'utilisation d'appareils munis de dispositifs assurant le captage des poussières lorsque leur emploi en génère,
- L'utilisation, autant que possible, des aspirateurs lors du nettoyage de chantier.

Les émissions de gaz d'échappement seront limitées par un entretien régulier des engins et l'utilisation de matériel conforme aux normes d'émissions. Une consigne d'arrêt de moteur pourra être transmise au transporteur pour les camions en attente.

Si nécessaire, une aire de lavage pourra être installée sur le chantier. La propreté des véhicules sera alors contrôlée avant leur départ du chantier en sortie du dispositif de lavage.

Rappelons que, conformément à la réglementation en vigueur, les brulages de matériaux (emballages, plastiques, caoutchouc, etc.) sont interdits.

Au-delà, les travaux induisent souvent des nuisances olfactives causées par les centrales à bitumes, la réalisation des chaussées.

Lors de la réalisation des chaussées, des émissions de COV se dégagent des enrobés à chaud générant des odeurs fortes, mais peu persistantes (quelques heures). Les nuisances engendrées par les centrales pourront être réduites en les éloignant autant que possible des zones d'habitations et en veillant au bon fonctionnement des appareils.

7.2.2 - Effets en phases exploitation et mesures associées

7.2.2.1 - Effets

L'étude air et santé de niveau I présentée dans ce rapport a notamment pour objectif de déterminer les effets du projet sur la qualité de l'air. Les résultats sont présentés dans les paragraphes suivants (monétarisation, IPP…).

7.2.2.2 - Mesures

7.2.2.2.1 - Mesures d'évitement

Mesures architecturales

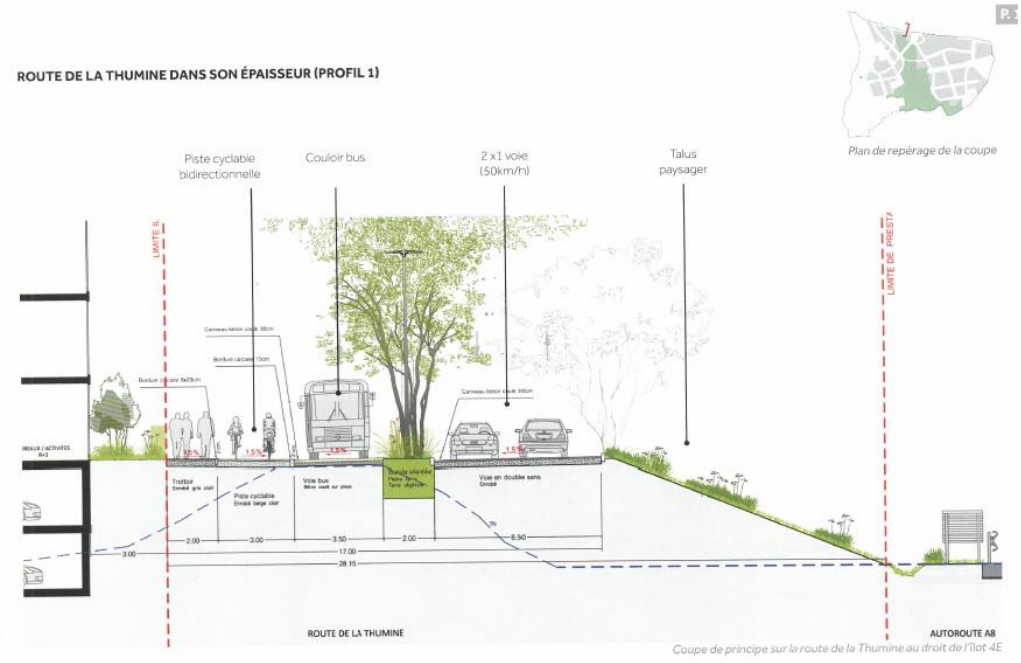
Au fur et à mesure de la conception du projet, les bâtiments ont été positionnés dans une logique visant à éviter au maximum l'exposition des populations. Ainsi, les principales mesures prises sont :

- Implantation des logements et établissements sensibles (groupe scolaire) le plus loin possible des principales sources de pollution, à savoir les autoroutes. Dans la bordure nord de la ZAC (le long de l'A8), seuls des ilots de bureaux (activité tertiaire) ont été implantés. Par ailleurs, leur implantation en façade continue et parallèle à l'A8 autant que possible vise à faire barrage à la pollution de l'A8 par rapport aux logements.
- Concernant ces bâtiments tertiaires implantés dans la partie nord de la ZAC, à proximité de l'A8, leur conception vise également à éviter au maximum l'exposition. Ainsi, pour ces bâtiments :
- Leur façade nord, exposée à l'A8 est totalement aveugle, ce qui permet de limiter l'exposition au bruit ainsi qu'à la pollution.
- Le captage d'air neuf de leur système de ventilation interne sera placé sur la façade sud, i.e. la moins exposée d'un point de vue de la pollution atmosphérique.

Mesures paysagères

De la même manière que la mise en place d'une façade continue contre l'A8, la mise en place d'une bordure végétalisée entre l'A8 et les ilots situés au nord de la zone doit permettre de faire barrage à la pollution émise au niveau des voies de l'A8. La coupe présentée sur la figure suivante présente la localisation de cette bordure végétalisée.

FIGURE 36 : COUPE DE LA VOIRIE AU NORD LA ZONE



7.2.2.2.2 - Mesures de réduction

Mesures liées à la mobilité et aux déplacements

Un moyen de réduire les émissions polluantes est de favoriser les modes de transport les moins polluants. Ainsi, le projet d'aménagement de la circulation au sein de la ZAC s'articule autour de plusieurs actions :

- Mise en place d'un Transport en Commun en Site Propre (TCSP) sur la zone (bus, vélo). Ce TCSP a été défini de telle sorte que tous les logements se trouvent à moins de 400 mètres d'un arrêt de bus.
- Prise en compte et mise en avant des modes doux : présence de pistes cyclables, présence d'itinéraires piéton, voies limitées à 30 km/h voire 20km/h pour les véhicules…
- Le schéma de circulation et des mobilités, incluant le TSCP et les modes doux est présenté sur la figure suivante.

FIGURE 37 : SCHÉMA DE CIRCULATION ET DES MOBILITÉS

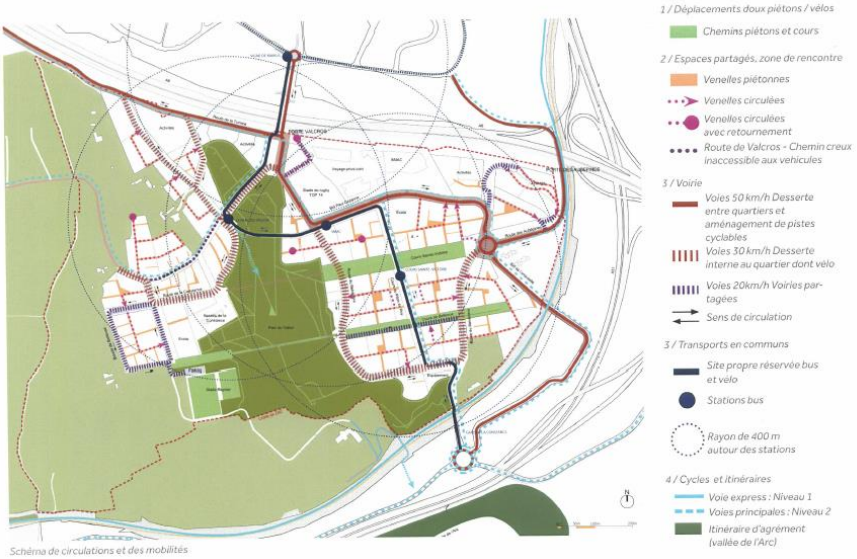


Schéma de circulations et des mobilités

En novembre 2019, le projet de loi d'orientation des mobilités a été adopté devant le conseil des ministres, demandant aux agglomérations de plus de 100 000 habitants d'évaluer l'opportunité de mettre en place des Zones à Faibles Émissions (ZFE), un dispositif permettant de diminuer les concentrations de polluants dans l'air.

La métropole Aix-Marseille Provence fait partie des zones retenues et à ce titre, des mesures de réduction de trafic ou de restrictions d'accès à certains véhicules devraient être mises en place sur la métropole.

Mesures paysagères

De même, des surfaces importantes d'espaces verts (notamment dans l'axe médian nord-sud de la ZAC) seront préservées par rapport à l'état initial afin de former des îlots de verdure. Ces îlots de végétation peuvent également contribuer à limiter et à « piéger » la pollution particulaire et gazeuse.

Mesures architecturales

Dans la conception du projet, les îlots de logements ont été constitués de bâtis discontinus permettant de favoriser les écoulements aérauliques au niveau local.

En complément, il serait possible de renforcer les écrans physiques tels que les remblais, les talus, les protections phoniques (écran, merlon, etc.) pour limiter/confiner/piéger la pollution venant de l'A8, au Nord.

7.2.2.2.3 - Mesures de compensation

Dans le cadre de cette étude, la principale mesure de compensation concerne le choix énergétique retenu pour le réseau de chaleur bas carbone.

La solution initiale consistait à développer une solution basée sur une chaudière biomasse permettant d'atteindre plus de 50 % d'ENR. Or, la centrale biomasse existante étant saturée, il aurait fallu en construire une nouvelle d'une puissance de production de l'ordre de 8 MW bois.

De fait que cette solution présente l'inconvénient d'émettre une quantité non négligeable de polluants atmosphériques (PM, NOx…), il a été décidé de retenir une autre solution. La solution retenue est basée sur la mise en place d'une centrale à boucle d'eau tempérée utilisant, pour son équilibrage, l'énergie grise des eaux de rejet de la STEP d'Aix en Provence. Cette solution présente l'avantage de répondre aux besoins de chaud mais également de froid (pour desservir les bureaux et les commerces – besoins = 5.5 MW) alors que la solution biomasse nécessite la réalisation de groupes froids électriques générateurs de phénomène d'îlots de chaleur. Cette solution est également plus vertueuse car le taux d'ENR est supérieur à 70%, bas carbone, et n'engendre pas d'émissions de polluants atmosphériques.

Remarque, à titre indicatif :

- Une chaudière biomasse de 2 MW peut émettre jusqu'à 15 mg/m^3 de poussières (valeur limite réglementaire) pour un débit de l'ordre de 5800 Nm^3/h, correspondant ainsi à **87 g/h**.
- Cette émission peut être comparée aux émissions de poussières PM10 engendrée directement par le projet : *Émissions de PM10 à l'état projeté (EP) – Émissions de PM10 à l'état fil de l'eau (EF) = 7,99 kg/j – 7,44 kg/j = 0,55 kg/j* = **23 g/h**.

Le choix d'une centrale à boucle d'eau chaude, évitant la mise en place d'une solution biomasse, permet de compenser les émissions de poussières liées au projet.

Les surfaces importantes d'espaces verts permettent de favoriser la pratique du sport. Une récente étude prospective[19] estime à 3 ans le gain en espérance de vie d'une pratique sportive régulière (15 minutes par jour ou 92 minutes hebdomadaires). Le fait de favoriser la pratique du sport via l'aménagement d'espaces verts permet ainsi de compenser les effets néfastes de la pollution atmosphérique de fond.

[19] www.sports.gouv.fr/IMG/pdf/sporteco_sportsantefinancespubliques2018.pdf

8 - MONÉTARISATION ET ANALYSE DES COÛTS COLLECTIFS LIÉS À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE ET À L'EFFET DE SERRE

8.1 - Méthodologie

La monétarisation et l'analyse des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique et à l'effet de serre ont été réalisées conformément à la ***Note technique du 27 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transport et aux fiches outils associées*** (version du 1er octobre 2014). Ces documents de référence ont été rédigés par la Direction générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.

8.1.1 - Monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique

La fiche outil intitulé ***Effets sur la pollution locale de l'air***[20] avertit sur les limites de la monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique.

Il est indiqué que « *les connaissances actuelles (données et outils disponibles) ne permettent pas de déterminer les pics de pollution, les variations saisonnières ou journalières de la pollution dues au projet* ».

Les résultats obtenus doivent davantage être lus comme des tendances plus que comme des valeurs formelles.

8.1.1.1 - Valeurs de référence

La fiche outil du 1er octobre 2014 intitulée ***Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique*** précise les valeurs de la pollution atmosphérique pour le mode routier devant être utilisées dans le calcul des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique. Ces valeurs sont indiquées par type de véhicules et par densité d'urbanisation des territoires (*cf.* Tableau 54).

Le calcul des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique s'appuie sur :

- Les types de véhicules et carburants associés ;
- La densité de l'urbanisation ;
- Le taux de croissance du PIB par tête.

TABLEAU 54 – VALEURS DE RÉFÉRENCE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE POUR LE MODE ROUTIER

€2010/100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VL essence	4.5	1.3	0.6	0.5	0.5
VL diesel	20.4	5.5	2.2	1.6	1.1
VL GPL	3.5	1.0	0.4	0.3	0.1
Utilitaire essence	6.3	1.9	0.9	0.8	0.8
Utilitaire diesel	33.7	9.1	3.5	2.5	1.6
PL diesel	186.6	37.0	17.7	9.4	6.4
Bus	125.4	24.8	11.9	6.3	4.2

Source : Egis

8.1.1.2 - Répartition des véhicules et carburants aux horizons de l'étude

La répartition par type de véhicules est directement issue du parc roulant IFSTTAR 2011, défini à l'heure actuelle jusqu'en 2030. Cette répartition est présentée, pour les horizons d'étude 2013 et 2033, dans le Tableau 55.

---

[20] *MEDDE - Fiche outil Effets sur la pollution de l'air – 01/10/14 – 3 Limites et précautions - page 2*

TABLEAU 55 – RÉPARTITION DES VÉHICULES EN 2013 ET EN 2033

Type de véhicules	État de référence	Fil de l'eau	État projeté
	2013	2033	2033
VL essence	36.2%	17.9%	17.9%
VL diesel	63.7%	81.7%	81.7%
VL GPL	0.2%	0.4%	0.4%
Utilitaire essence	3.5%	1.0%	1.0%
Utilitaire diesel	96.5%	99.0%	99.0%
PL diesel	100.0%	100.0%	100.0%
Bus	100.0%	100.0%	100.0%

Source : Egis

8.1.1.3 - Répartition de l'urbanisation aux horizons de l'étude

Les critères retenus pour la détermination de la densité d'urbanisation s'appuient sur la ***Méthode de construction de la grille de densité (typologie européenne) mise en œuvre au PSAR AT***[21]. Ils tiennent également compte de la définition officielle de l'Unité urbaine[22] telle qu'elle est décrite par l'INSEE, l'IGN, le MEDDE.

Ces valeurs de surfaces s'obtiennent, sous SIG, par la détermination des secteurs urbanisés (Corine Land Cover, Open Street Map, numérisation) et l'affectation des populations légales (Insee). Á défaut, il est possible d'utiliser la répartition de l'urbanisation (en ajoutant et en quantifiant les zones interurbaines) définies par l'INSEE[23].

Les populations communales ont été estimées en 2013 et en 2033 sur la base des données de population INSEE de 2016, actualisées avec les aménagements de la ZAC à l'***État projeté***.

Les classes de densité retenues sont issues de la fiche outil concernant les ***Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique*** (paragraphe 3 – Externalités environnementales). Cette répartition est présentée dans le Tableau 56.

TABLEAU 56 – RÉPARTITION DE L'URBANISATION DANS L'EMPRISE DU PROJET

	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interrurbain
Classes de densité	> 4 500 hab/km²	1 500 à 4 500 hab/km²	450 à 1 500 hab/km²	37 à 450 hab/km²	< 37 hab/km²
Horizon 2013	0%	0%	0%	2%	98%
Horizon 2033 FE	0%	0%	0%	2%	98%
Horizon 2033 EP	25%	0%	0%	1%	74%

Source : Egis

---

[21] *INSEE, Méthode de construction de la grille de densité (typologie européenne) mise en œuvre au PSAR AT21 - © Insee - Mars 2015*

[22] *INSEE - http://insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/unite-urbaine.htm*

[23] *INSEE - http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=zonages/grille-densite.htm*

8.1.1.4 - Croissance du PIB

Les croissances du PIB sont fournies par la Banque Mondiale[24] pour les années 1961 – 2017, par la Commission Européenne[25] pour les années 2006 à 2017 et par l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) jusqu'en 2020.

En l'absence de données prévisionnelles à utiliser pour les horizons prospectifs au-delà de 2020, le taux de croissance du PIB ne peut pas être intégré dans cette méthodologie.

La croissance du PIB n'a donc pas été considérée dans le cadre de cette évaluation. Cette absence de donnée n'entrave toutefois pas l'analyse comparative entre le ***Fil de l'eau 2023*** et l'***État projeté 2033***, puisqu'elle concerne les mêmes horizons d'étude.

8.1.2 - Monétarisation des coûts collectifs liés à l'effet de serre

Le calcul des coûts collectifs liés à l'effet de serre s'appuie sur les émissions de dioxyde de carbone pour l'ensemble des tronçons et des véhicules et sur le cout de la tonne de CO_2 en $€_{2010}$ pour l'année considérée.

8.1.2.1 - Valeurs de référence

Les valeurs de référence du prix de la tonne de dioxyde de carbone sont indiquées dans les fiches outil Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique[26] et Valeurs recommandées pour le calcul socio-économique[27].

Ces documents proposent deux hypothèses du coût de la tonne de dioxyde de carbone à l'horizon 2050

- Une hypothèse basse de 150 $€_{2010}$ la tonne de CO_2 ;
- Une hypothèse haute de 350 $€_{2010}$ la tonne de CO_2.

8.1.2.2 - Coûts de la tonne de CO_2 aux horizons d'étude

Les valeurs de référence du coût de la tonne de dioxyde de carbone sont présentées dans le Tableau 57. En l'absence d'une hypothèse plus probable que l'autre et suivant la préconisation du rapport Quinet, le tableau présente une valeur médiane de 250 $€_{2010}$ la tonne de dioxyde de carbone en 2050.

TABLEAU 57 – VALEURS DE RÉFÉRENCE DE LA TONNE DE DIOXYDE DE CARBONE

Année	Coût de la tonne de CO_2 en $€_{2010}$
2010	32
2030	100
2050 Hypothèse médiane	250

Source : Egis

À partir de ces valeurs de référence, des taux d'évolution annuel ont été déterminés pour la période 2010 – 2030 et pour la période 2030 – 2050. Ils sont présentés dans le Tableau 58.

---

[24] *Banque Mondiale* - http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.PCAP.KD.ZG

[25] *Commission européenne* - https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Real_GDP_growth,_2006-2016_(%25_change_compared_with_the_previous_year;_%25_per_annum)_YB17-fr.png

[26] *MEDDE - Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique - 01/10/14 - 3.1 Pollution atmosphérique - page 4*

[27] *MEDDE - Valeurs recommandées pour le calcul socio-économique - 01/10/14 - 3. Externalités environnementales : valeurs recommandées - page 7*

TABLEAU 58 – TAUX D'ÉVOLUTION DU PRIX EN €$_{2010}$ DE LA TONNE DE DIOXYDE DE CARBONE

Période	Taux d'évolution
2010 - 2030	5.863%
2030 - 2050 (hypothèse médiane)	4.688%

Source : Egis

Les coûts de la tonne de dioxyde d'azote en €$_{2010}$ pour les horizons concernés sont indiqués dans le Tableau 59.

TABLEAU 59 – COÛT DE LA TONNE DE CO_2 EN €$_{2010}$

Scénario	Année	Coût de la tonne de CO_2 en €$_{2010}$
État de référence	2013	38
Fil de l'eau / État proj.	2033	115

Source : Egis

8.1.3 - Monétarisation des effets amont – aval

Ces coûts intègrent la prise en charge des externalités, à savoir la production et la distribution des énergies, la fabrication, la maintenance et le retrait des véhicules, ainsi que la construction, la maintenance et la fin de vie de l'infrastructure.

Les valeurs tutélaires des émissions Atmosphériques, précisées dans la fiche outil ***Valeurs recommandées pour le calcul socio-économique***, sont données dans le Tableau 60.

Les valeurs pour l'étude sont calculées à partir des valeurs tutélaires et du kilométrage parcouru.

TABLEAU 60 – VALEURS TUTÉLAIRES DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES EN €$_{2010}$ POUR 100 VÉH.KM

Transport routier	VL	0.90
	Utilitaire	1.14
	PL	2.96
	Bus	2.83

Source : Egis

8.1.4 - Prise en compte des risques

La monétarisation intègre la notion de risques pouvant affectés les effets du projet.

D'origines multiples, physiques (aléas naturels, industriels, malveillance) ou économiques (coûts, croissance, prix relatifs, etc.), ces risques sont classés en :

- Risques non systémiques (données insuffisamment fiables, erreurs d'estimation des coûts…) dont l'évaluation n'intervient pas dans la monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique et à l'effet de serre ;
- Risques systémiques (contexte macro-économique, prix de l'énergie…) qui sont évaluées dans la monétarisation.

La prise en compte du risque systémique est réalisée par la méthode de calcul élémentaire qui consiste à « *évaluer l'ensemble des coûts et avantages du projet dans un scénario de contexte macro-économique unique (dit 'tendanciel')* »[28]. Le taux d'actualisation est alors fixé à 4,5 %.

---

[28] *MEDDE – Prise en compte des risques dans l'analyse monétarisée - 01/10/14 - 3. Prise en compte des risques systémiques dans l'analyse monétarisée - page 5*

Toutefois, comme les projets concernant les trajets de longues distances sont réputés plus risqués que les projets locaux, le rapport Quinet introduit un facteur risque qui implique la prise en compte d'un taux variable en fonction du type de projet.

Le rapport propose d'introduire la notion de risque dans le taux d'actualisation (méthode dite du dénominateur). En pratique il s'agit de considérer un taux d'actualisation selon la formule suivante :

$$r = rf + \varphi\beta$$

Avec :

- **r** taux d'actualisation risqué propre au projet ;
- **rf** taux sans risque de 2,5 % passant à 1,5 % au-delà de 2070 ;
- **φ** prime de risque du projet, de 2 % passant à 3 % au-delà de 2070 ;
- **ß** corrélation entre la valeur du projet et le PIB.

On distingue trois types de corrélation ß en fonction :

- Du gain de temps et qui ne concerne pas la présente monétarisation ;
- Des coûts de construction et fixée à 0,5 par défaut dans le rapport Quinet[29] ;
- Des effets carbone et fixée à 1 par défaut dans le rapport Quinet[30].

Les taux d'actualisation utilisés pour la monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique, à l'effet de serre et aux effets amont – aval sont présentés dans le Tableau 61.

TABLEAU 61 – TAUX D'ACTUALISATION DES RISQUES LIÉS À LA CONSTRUCTION

Actualisation	État de référence	Fil de l'eau et état projeté
Horizon	2013	2033
Pollution atmosphérique	3.5%	3.5%
Gaz à effet de serre	4.5%	4.5%
Effets amont - aval	3.5%	3.5%

Source : Egis

8.2 - Résultats de la monétarisation

8.2.1 - Monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique

Les coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique ainsi obtenus sont présentés dans le Tableau 62.

---

[29] *Commissariat général à la stratégie et à la prospective – Évaluation socio-économique des investissements publics – rapport de la mission présidée par Émile Quinet – Chapitre 1 – 3.5.3. Les considérants concernant le système d'actualisation – page 82*

[30] *Commissariat général à la stratégie et à la prospective – Évaluation socio-économique des investissements publics – rapport de la mission présidée par Émile Quinet – Chapitre 1 – 9.2. Comment envisager la révision 2013 – page 123*

TABLEAU 62 – MONÉTARISATION DES COÛTS ANNUELS LIÉS À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

Coût annuel en k€$_{2010}$	Etat de référence (ER)	Fil de l'eau (ER)	Etat projeté (EP)	Ecart relatif (FE-ER)/ER (en %)	Ecart relatif (EP-FE)/FE (en %)
VL	151	104	569	-31%	447%
Utilitaires	81	50	317	-38%	533%
PL	120	74	605	-38%	713%
Total en k€$_{2010}$	**352**	**229**	**1 495**	**-35%**	**554%**

Source : Egis

La monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique permet d'estimer une augmentation annuelle de 1 266 k€ à l'horizon 2033, du fait de la réalisation du projet de la ZAC de la Constance.

8.2.2 - Monétarisation des coûts collectifs liés à l'effet de serre

Les coûts collectifs liés à l'effet de serre ainsi obtenus sont présentés dans le Tableau 63.

TABLEAU 63 – MONÉTARISATION DES COÛTS ANNUELS LIÉS À L'EFFET DE SERRE

Coût annuel en k€$_{2010}$	Etat de référence (ER)	Fil de l'eau (ER)	Etat projeté (EP)	Ecart relatif (FE-ER)/ER (en %)	Ecart relatif (EP-FE)/FE (en %)
Gaz à effet de serre	2	3	3	54%	5%

Source : Egis

La monétarisation des coûts collectifs liés à l'effet de serre permet d'estimer une stagnation à l'horizon 2033.

8.2.3 - Monétarisation des coûts collectifs liés aux effets amont – aval

Les coûts collectifs liés aux effets amont – aval ainsi obtenus sont présentés dans le Tableau 64.

TABLEAU 64 – MONÉTARISATION DES COÛTS COLLECTIFS LIÉS AUX EFFETS AMONT – AVAL

Coût annuel en k€$_{2010}$	Etat de référence (ER)	Fil de l'eau (ER)	Etat projeté (EP)	Ecart relatif (FE-ER)/ER (en %)	Ecart relatif (EP-FE)/FE (en %)
VL	1.53	0.94	1.00	-39%	6%
Utilitaires	0.58	0.36	0.38	-39%	6%
PL	0.55	0.34	0.35	-38%	2%
Total en k€$_{2010}$	**2.66**	**1.63**	**1.72**	**-38%**	**5%**

Source : Egis

La monétarisation des coûts collectifs liés aux effets amont-aval permet d'estimer une augmentation annuelle de 0,09 k€ à l'horizon 2033, du fait de la réalisation du projet de la ZAC de la Constance.

8.2.4 - Synthèse

Les coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique, à l'effet de serre et aux effets amont – aval sont cumulés dans le Tableau 65.

TABLEAU 65 – SYNTHÈSE DES COÛTS ANNUELS LIÉS À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE, À L'EFFET DE SERRE ET AUX EFFETS AMONT – AVAL

Coût annuel en k€$_{2010}$		État de référence	Fil de l'eau	État projeté	Écart relatif (FE-ER)/ER (en %)	Écart relatif (EP-FE)/FE (en %)
Pollution de l'air	VL	151	104	569	-31%	447%
	Utilitaires	81	50	317	-38%	533%
	PL	120	74	605	-38%	713%
	Bus	0	0	4	#DIV/0!	#DIV/0!
Effet de serre		2	3	3	54%	5%
Effets Amont - aval		2.66	1.63	1.72	-38%	5%
Total en k€$_{2010}$		**356k€**	**233k€**	**1 500k€**	**-35%**	**543%**

Source : Egis

La monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique, à l'effet de serre et aux effets amont – aval permet d'estimer une augmentation annuelle de 1 267 k€ à l'horizon 2033, du fait de la réalisation du projet de la ZAC de la Constance.

Cette augmentation résulte principalement de l'accroissement globale du kilométrage parcouru (+6 %) entre le ***Fil de l'eau 2033*** et l'***État projeté 2033*** et est principalement lié la pollution de l'air (99,9 % des coûts collectifs suivant l'horizon d'étude considéré).

9 - CONCLUSION

L'étude air et santé de niveau I du projet de la ZAC de la Constance a été menée conformément à la réglementation en vigueur, notamment la note technique du 22 février 2019 et le guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du CEREMA.

Sur la base des éléments bibliographiques disponibles, la caractérisation de l'état actuel à proximité immédiate de l'emplacement projeté de la ZAC de la Constance a permis de mettre en évidence :

- Un environnement caractérisé principalement par des espaces périurbains ;
- Aucun établissement à caractère sanitaire et social et 3 sites sensibles dans l'emprise du projet ;
- Trois stations permanentes de mesure AtmoSud situées à 1,7 km, 1,9 km et 5 km de celui-ci.

La campagne de mesure, réalisée en octobre 2019 a mis en évidence des teneurs en polluants en-deçà des normes de qualité de l'air en vigueur. La qualité de l'air dans la bande d'étude est donc bonne.

Le projet de la ZAC de la Constance a pour impact l'augmentation du kilométrage parcouru de l'ordre de 6 % par rapport à un horizon sans projet (Fil de l'eau).

Les évolutions des émissions en polluants sont cohérentes avec les évolutions du trafic routier dans la bande d'étude. Globalement, les émissions routières augmentent de 6 % à l'État projeté par rapport au Fil de l'eau.

L'évaluation des impacts du projet sur la qualité de l'air a été menée avec le modèle de dispersion atmosphérique ADMS Roads.

Les teneurs de fond en PM2.5 sont proches des normes de qualité de l'air.

Les teneurs maximales dépassent la valeur limite pour le dioxyde d'azote et l'objectif de qualité pour les particules PM2.5 à l'État projeté. Les teneurs maximales des autres polluants sont en deçà des normes réglementaires. Ces résultats étant sensiblement similaires pour l'état au Fil de l'eau, le projet n'est donc pas à l'origine de ces dépassements. De plus, ces dépassements de la valeur limite en NO2 sont localisés à proximité de l'autoroute A8, dans une bande étroite de quelques mètres où aucun bâtiment de la ZAC n'est implanté à l'État projeté.

Sous réserve des hypothèses de trafic, la réalisation du projet de la ZAC de la Constance, à l'horizon 2033, n'aurait pas d'impact significatif sur la qualité de l'air à l'échelle de la zone d'étude.

Avec les hypothèses de trafic prises en compte et sur la base de l'Indice Pollution Population, indicateur sanitaire simplifié, la réalisation du projet ZAC de la Constance induirait une variation significative de l'exposition des populations présentes dans l'emprise du projet pour le dioxyde d'azote. Néanmoins, cette augmentation est causée par l'aménagement de 3 600 logements dans la ZAC. Le nombre d'habitant passe de 75 à 10 800 et de facto la population impactée augmente. Enfin, à l'***État projeté***, l'ensemble des habitants est exposé à des teneurs en dioxyde d'azote inférieures à la valeur limite (40 µg/m^3).

À l'horizon 2033, la réalisation du projet de la ZAC de la Constance n'induit pas de risque sanitaire supplémentaire pour les effets chroniques à seuil ou sans seuil par inhalation ou par ingestion, ni pour les effets aigus par inhalation.

Aucun risque à seuil par inhalation ou par ingestion pour une exposition chronique n'est susceptible de se produire pour les populations situées dans la bande d'étude du projet. Néanmoins, à proximité immédiate de l'autoroute A8 (Rmax pas de riverains) certains polluants peuvent dépasser les valeurs sanitaires. Au niveau des riverains les plus impactés dans **l'état actuel**, les teneurs inhalées dépassent la valeur guide de l'OMS pour le dioxyde d'azote. Dans l'état projeté ces riverains ne seront plus là et les futurs riverains seront localisées dans des zones où la valeur guide sera respectée. Globalement sur la zone d'étude, les concentrations en PM2,5 sont proches de la valeur guide de l'OMS, toutefois la teneur en bruit de fond retenue représente à minima 85 % de la concentration d'exposition.

Le risque cancérigène lié à une exposition chronique peut être qualifié d'acceptable pour les populations situées dans la bande d'étude du projet (hormis les populations sensibles étudiées – nouveau groupe scolaire - en raison du temps d'exposition retenu moindre que celui des résidents permanents), quelle que soit la substance prise individuellement, excepté pour le chrome par inhalation, pour les 3 états étudiés (état actuel, au fil de l'eau et projeté). Toutefois ce risque n'est pas imputable au projet de la ZAC car il est lié au bruit de fond retenu (issu de la valeur mesurée dans la zone d'étude) ; par ailleurs, il est fait l'hypothèse que le chrome est assimilé en totalité à du chrome VI (substance la plus préoccupante en terme de risque sanitaire).

En exposition aiguë aucun risque sanitaire n'est susceptible de se produire pour les populations étudiées quelle que soit la substance considérée et quel que soit le scénario étudié.

La monétarisation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique, à l'effet de serre et aux effets amont – aval permet d'estimer une augmentation annuelle de 1 267 k€, à l'horizon 2033, du fait de la réalisation du projet de la ZAC de la Constance.

Cette valeur résulte principalement de l'augmentation globale du kilométrage parcouru (+6 %) entre le fil de l'eau et l'état projeté et est principalement lié à la pollution atmosphérique (99,9 % des coûts collectifs).

10 - ANNEXES

10.1 - Fiches de mesure

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 01

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Fond rural
Intérêt du site : Non renseigné
Établissement / Lieu vulnérable : Aucun

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 12:46:30 au 16/10/2019 12:38:19

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	435
C_6H_6	257
SO_2	76
CO	
1,3-butadiène	1767

Remarque :
Partisol

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 2:39:00 au 31/10/2019 10:25:00

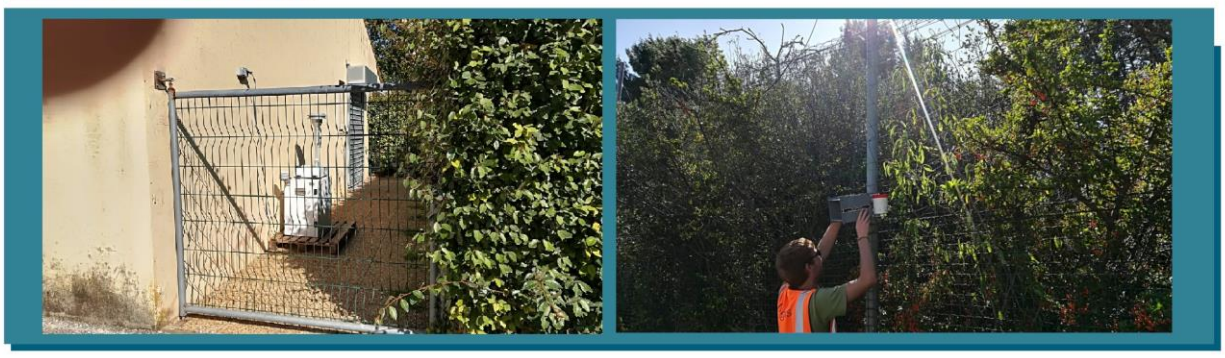
Polluants :	N° capteurs :
NO_2	433
C_6H_6	276
SO_2	86
CO	
1,3-butadiène	1755

Remarque :
Partisol

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 895569 m - Y 6271854 m
Projection : Lambert 93
Commune : Aix En Provence
Adresse : 255 route de Valcros
Topographie :
Support et Hauteur :

PHOTOGRAPHIES DU SITE



Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 02

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Proximité routière
Établissement / Lieu vulnérable : Aucun
Intérêt du site : Proximité A8 et habitations

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 12:08:32 au 16/10/2019 12:27:06

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	429
C_6H_6	258
SO_2	85
CO	29
1,3-butadiène	1759

Remarque :

Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 2:27:00 au 31/10/2019 10:16:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	437
C_6H_6	268
SO_2	96
CO	41
1,3-butadiène	1772

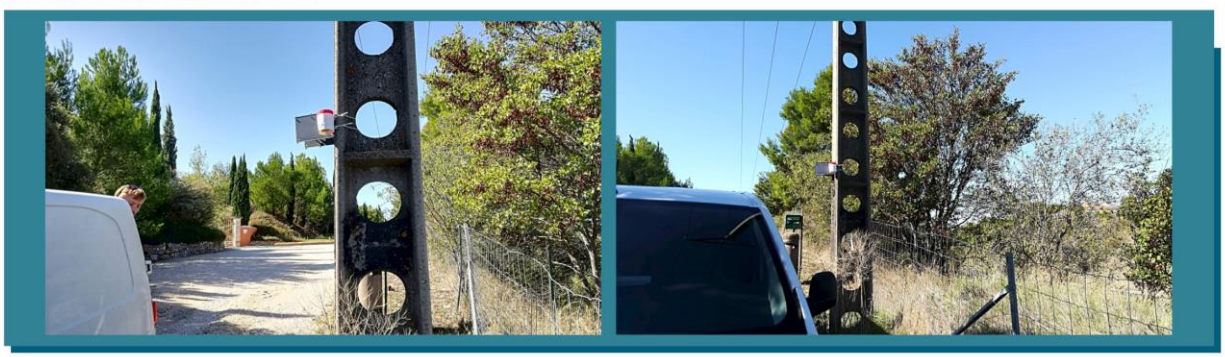
Remarque :

Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 895199 m - Y 6272084 m
Commune : Aix En Provence
Topographie :
Projection : Lambert 93
Adresse :
Support et Hauteur :

PHOTOGRAPHIES DU SITE



Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 03

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Proximité routière **Établissement / Lieu vulnérable :** Aucun
Intérêt du site : Proximité A8 et A51 et futurs bureaux

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 13:43:31 au 16/10/2019 11:25:34

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	422
C_6H_6	267
SO_2	95
CO	
1,3-butadiène	1784

Remarque :

Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 1:25:00 au 31/10/2019 9:39:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	423
C_6H_6	272
SO_2	96
CO	
1,3-butadiène	1772

Remarque :

Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 896182 m - Y 6271887 m **Commune :** Aix En Provence **Topographie :**
Projection : Lambert 93 **Adresse :** Résidence les Hameaux de Martelly **Support et Hauteur :**

PHOTOGRAPHIES DU SITE

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 04

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Fond rural **Établissement / Lieu vulnérable :** Aucun
Intérêt du site : Proximité futur groupe scolaire

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 13:56:53 au 16/10/2019 11:31:06

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	424
C_6H_6	266
SO_2	91
CO	
1,3-butadiène	

Remarque :
Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 1:33:00 au 31/10/2019 9:45:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	424
C_6H_6	271
SO_2	80
CO	
1,3-butadiène	1764

Remarque :
Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 895929 m - Y 6271747 m **Commune :** Aix En Provence **Topographie :**
Projection : Lambert 93 **Adresse :** **Support et Hauteur :**

PHOTOGRAPHIES DU SITE

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 05

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Fond rural
Intérêt du site : Fond
Établissement / Lieu vulnérable : Aucun

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 11:47:45 au 16/10/2019 12:11:36

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	420
C_6H_6	260
SO_2	93
CO	18
1,3-butadiène	1769

Remarque :

Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 2:13:00 au 31/10/2019 10:07:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	438
C_6H_6	278
SO_2	83
CO	42
1,3-butadiène	1750

Remarque :

Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 895015 m - Y 6271885 m
Projection : Lambert 93
Commune : Aix En Provence
Adresse : 1043 route de Valcros
Topographie :
Support et Hauteur :

PHOTOGRAPHIES DU SITE

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 06

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Fond rural **Établissement / Lieu vulnérable :** Aucun
Intérêt du site : Proximité habitations et fond

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 11:56:22 au 16/10/2019 12:18:50

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	426
C_6H_6	259
SO_2	84
CO	21
1,3-butadiène	1752

Remarque :
Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 2:19:00 au 31/10/2019 10:12:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	439
C_6H_6	277
SO_2	88
CO	22
1,3-butadiène	1785

Remarque :
Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 895209 m - Y 6271620 m **Commune :** Aix En Provence **Topographie :**
Projection : Lambert 93 **Adresse :** 621 route de Valcros **Support et Hauteur :**

PHOTOGRAPHIES DU SITE

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 07

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Proximité routière
Établissement / Lieu vulnérable : Aucun
Intérêt du site : Chemin de Valcros

Campagne automnale 1

du 02/10/2019 11:40:37 au 16/10/2019 12:02:49

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	436
C_6H_6	261
SO_2	90
CO	30
1,3-butadiène	1773

Remarque :

Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 2:02:00 au 31/10/2019 10:03:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	416
C_6H_6	269
SO_2	73
CO	25
1,3-butadiène	1778

Remarque :

Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 894928 m - Y 6271057 m
Projection : Lambert 93
Commune : Aix En Provence
Adresse : 2497 route de Valcros
Topographie :
Support et Hauteur :

PHOTOGRAPHIES DU SITE

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 08

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Fond rural
Établissement / Lieu vulnérable : Aucun
Intérêt du site : Proximité habitations

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 14:23:51 au 16/10/2019 11:52:38

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	427
C_6H_6	
SO_2	74
CO	34
1,3-butadiène	1768

Remarque :

Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 1:52:00 au 31/10/2019 09:56:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	419
C_6H_6	273
SO_2	87
CO	36
1,3-butadiène	1763

Remarque :

Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 895798 m - Y 6271203 m
Projection : Lambert 93
Commune : Aix En Provence
Adresse : Chemin Guiseppe Varacalli
Topographie :
Support et Hauteur :

PHOTOGRAPHIES DU SITE

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 09

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Proximité routière
Intérêt du site : Proximité A51
Établissement / Lieu vulnérable : Aucun

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 14:10:54 au 16/10/2019 11:43:15

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	425
C_6H_6	265
SO_2	92
CO	
1,3-butadiène	1757

Remarque :

Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 1:43:00 au 31/10/2019 09:51:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	428
C_6H_6	270
SO_2	78
CO	
1,3-butadiène	1760

Remarque :

Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 896008 m - Y 6271471 m
Projection : Lambert 93
Commune : Aix En Provence
Adresse : 705-365 Chemin des Aubépines
Topographie :
Support et Hauteur :

PHOTOGRAPHIES DU SITE

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 10

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Fond rural
Intérêt du site : Proximité Golf
Établissement / Lieu vulnérable : Aucun

Campagne Automnale 1

du 02/10/2019 12:57:21 au 16/10/2019 13:01:53

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	421
C_6H_6	256
SO_2	94
CO	19
1,3-butadiène	1777

Remarque :

Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 3:02:00 au 31/10/2019 10:41:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	415
C_6H_6	275
SO_2	77
CO	33
1,3-butadiène	1776

Remarque :

Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 895693 m - Y 6271567 m
Projection : Lambert 93
Commune : Aix En Provence
Adresse : Aix Golf Route de Valcros
Topographie :
Support et Hauteur :

PHOTOGRAPHIES DU SITE

Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 11

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Proximité routière
Établissement / Lieu vulnérable : Aucun
Intérêt du site : Chemin des Aubépines

Campagne Automnale 1

du 03/10/2019 10:43:53 au 16/10/2019 11:18:33

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	440
C_6H_6	262
SO_2	75
CO	20
1,3-butadiène	1780

Remarque :

Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 1:19:00 au 31/10/2019 09:36:00

Polluants :	N° capteurs :
NO_2	434
C_6H_6	263
SO_2	89
CO	28
1,3-butadiène	1770

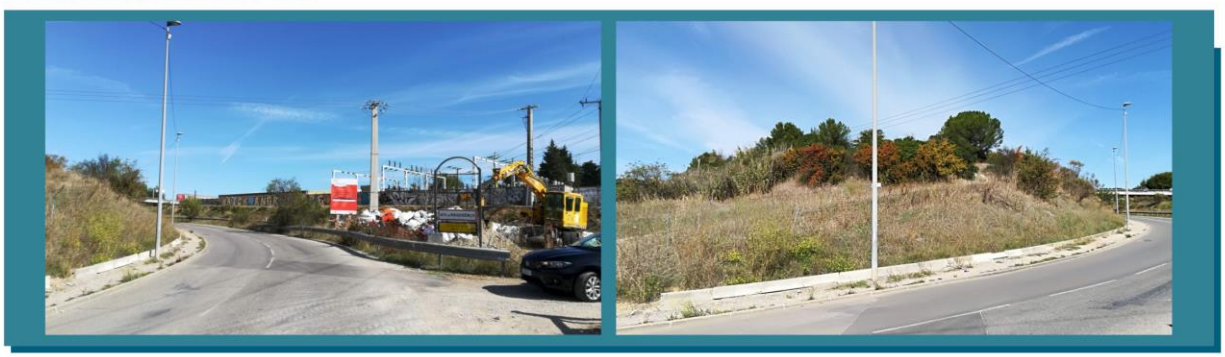
Remarque :

Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 895315 m - Y 6271320 m
Commune : Aix En Provence
Topographie :
Projection : Lambert 93
Adresse :
Support et Hauteur :

PHOTOGRAPHIES DU SITE



Fiche de mesure - ZAC Constance
Site 12

CARACTÉRISTIQUES DU SITE

Ambiance : Fond urbain **Établissement / Lieu vulnérable :** Aucun
Intérêt du site : Doublons avec station Atmo SUD Aix Ecole Art

Campagne Automnale 1

du 03/10/2019 12:19:49 au 16/10/2019 11:04:24

Polluants :
NO_2
C_6H_6
SO_2
CO
1,3-butadiène

N° capteurs :
432

Remarque :
Aucune

Campagne Automnale 2

du 16/10/2019 1:19:00 au 31/10/2019 09:36:00

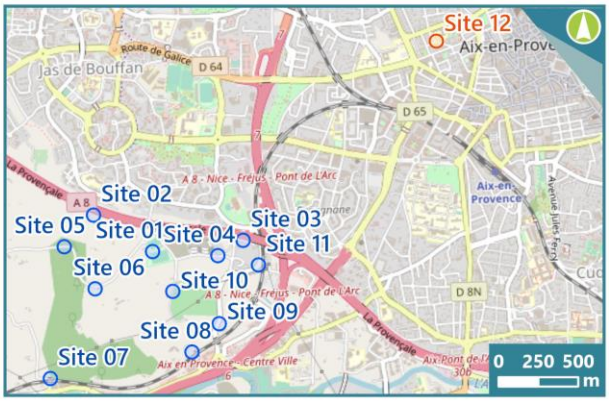
Polluants :
NO_2
C_6H_6
SO_2
CO
1,3-butadiène

N° capteurs :
418

Remarque :
Aucune

LOCALISATION DU SITE

Coordonnées : X 897364 m - Y 6273183 m **Commune :** Aix En Provence **Topographie :**
Projection : Lambert 93 **Adresse :** 16-8 Rue Emile Tavan **Support et Hauteur :**



PHOTOGRAPHIES DU SITE

10.2 - Résultats des mesures

Polluants	Numéro Campagne	Site 01		Site 02	Site 03	Site 04	Site 05	Site 06	Site 07	Site 08	Site 09	Site 10	Site 11	Site 12
		Rural		Proximité routière	Proximité routière	Rural	Rural	Rural	Proximité routière	Rural	Proximité routière	Rural	Proximité routière	Urbain
		capteur 1	*capteur 2*											
Dioxyde d'azote	Période 1	20.30		28.60	39.80	30.10	18.30	23.50	20.60	11.80	30.80	17.90	34.40	24.50
en µg/m³	Période 2	24.80	25.90	32.90	46.10	30.10	18.30	27.10	23.10	14.20	38.70	22.10	40.90	25.00
PM_{10}	Période 1	13.43												
en µg/m³	Période 2													
$PM_{2.5}$	Période 1													
en µg/m³	Période 2	21.25												
Benzène	Période 1	0.60		0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	0.50	0.50	0.60	1.00	0.60	
en µg/m³	Période 2	0.70	0.70	0.60	0.90	0.80	0.80	0.60	0.80	0.70	0.80	0.70	0.80	
1,3 - butadiène	Période 1	0.04		0.07	<LQ		0.05	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.08	
en µg/m³	Période 2	0.03		0.02	0.09	0.11	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.12	0.14	
Dioxyde de soufre	Période 1	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1.30	<LQ	<LQ	<LQ	
en µg/m³	Période 2	<LQ		0.70	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
Monoxyde de carbone	Période 1	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
en µg/m³	Période 2	<LQ		<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	
Chrome	Période 1	7.50												
en ng/m³	Période 2													
Nickel	Période 1	2.70												
en ng/m³	Période 2													
Arsenic	Période 1	0.30												
en ng/m³	Période 2													
Benzo(a)pyrène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Acénaphtène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Acénaphtylène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Anthracène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Benzo(a)anthracène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Benzo(b+j)fluoranthène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Benzo(k)fluoranthène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Benzo(ghi)pérylène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Chrysène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Dibenzo(a,h)anthracène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Fluorène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Fluoranthène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Phénanthrène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													
Pyrène	Période 1	<LQ												
en ng/m³	Période 2													

Source : Egis - Tera Environnement- PASSAM

10.3 - Fiches toxicologiques

10.3.1 - Arsenic

L'arsenic (As) est un élément naturel qui existe sous forme de différents minerais dans l'environnement. Sa présence dans l'air sous forme de particules provient des manipulations de minerais sous haute température qui permettent l'extraction d'arsenic mais aussi de l'incinération de produits contenant de l'arsenic. L'arsenic dans l'air est présent sous la forme d'un mélange de composés trivalents et pentavalents. Bien que la pénétration de l'arsenic soit possible par toutes les voies, la principale source d'apport d'arsenic de la population générale est la voie orale par l'intermédiaire de l'alimentation et secondairement par inhalation pour les personnes vivant au voisinage de site de pollution. L'arsenic, selon sa forme, traverse aisément la barrière pulmonaire et intestinale (80 à 100 %). Les particules inhalées peuvent être soit absorbées par les poumons, soit avalées par déglutition puis absorbées au niveau des intestins.

L'arsenic est un poison bien connu qui entraîne la mort lorsqu'il est administré à forte dose par ingestion d'eau ou d'aliments. Les composés arsenicaux considérés les plus toxiques sont les dérivés inorganiques solubles trivalents.

Par inhalation, l'exposition à l'arsenic contenu dans des poussières provoque surtout une irritation des voies respiratoires et une atteinte des muqueuses (rhinite, gingivite, laryngite, perforation de la cloison nasale). Les troubles neurologiques apparaissent après inhalation d'arsenic trivalent à des concentrations supérieures à 0,5 µg/m3. Ces troubles sont caractérisés par une polynévrite sensitivomotrice (douleurs dans les membres inférieurs, marche difficile, faiblesse musculaire).

Les effets par ingestion se traduisent tout d'abord, dans l'heure qui suit, par des troubles digestifs (fortes douleurs abdominales, vomissements, diarrhées parfois hémorragiques). Dans les formes moins importantes, on observe une encéphalopathie, des troubles cardiovasculaires (anomalies du rythme cardiaque), une diminution de la production des globules rouges et blanc ou encore, une anomalie de la coagulation du sang. Les atteintes nerveuses peuvent apparaître avec une sensation de "fourmis" dans les mains et les pieds. Des atteintes hépatiques, rénales ou cutanées peuvent survenir pour des doses d'exposition moins importantes.

Le rôle mutagène de l'arsenic trivalent a été montré in-vitro sur des cellules animales et humaines en induisant des échanges de chromatides sœurs. Des études épidémiologiques ont révélé un nombre accru de cas de cancers du poumon et de la peau respectivement par inhalation et par ingestion d'arsenic. L'arsenic a été classé comme carcinogène humain par le CIRC (Groupe 1) et l'US-EPA (Groupe A). Cette classification est basée sur des preuves suffisantes chez l'homme et des preuves limitées ou inadéquates chez l'animal.

L'arsenic est étudié dans cette étude pour ses effets sans seuil et à seuil par inhalation et par ingestion.

Les ERU proposés pour les effets sans seuil par inhalation chronique de l'arsenic sont présentés dans le Tableau 66.

TABLEAU 66 – PRÉSENTATION DES ERU POUR LES EFFETS SANS SEUIL PAR INHALATION DE L'ARSENIC

Substance	ERU_i $(\mu g/m^3)^{-1}$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Arsenic	$4{,}3.10^{-3}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, US-EPA 1998
	$1{,}5.10^{-3}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OMS, 1999
	$6{,}4.10^{-3}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, Santé Canada, 1992
	$3{,}3.10^{-3}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OEHHA, 2002

Source : US-EPA - OMS - Santé Canada - OEHHA

Quatre organismes proposent des valeurs de référence pour les effets sans seuil par inhalation de l'arsenic. La valeur de l'OMS n'est pas retenue en raison du manque de transparence du mode de construction. Par ailleurs, la méthode de construction utilisée par Santé Canada pour l'établissement de sa VTR n'est pas décrite en détail. Par exemple, le modèle pris en compte pour calculer cette VTR n'est pas mentionnée. Dans ce cas, il est préférable de ne pas retenir la valeur proposée par Santé Canada.

L'US EPA retient six études réalisées dans des fonderies situées aux Etats-Unis et l'OEHHA retient une étude menée sur 8 fonderies différentes localisées aux Etats-Unis. Les fonderies étudiées étant souvent les mêmes. Toutefois, la VTR proposée par l'OEHHA est basée sur les résultats d'une seule fonderie. La VTR proposée par l'US-EPA repose sur le calcul de différents Excès de Risque Unitaire à partir des études ou des niveaux de concentrations en arsenic qui sont mentionnés. Une moyenne géométrique a ensuite été utilisée pour déterminer la valeur finalement proposée. L'INERIS dans sa fiche toxicologique de 2010 relative à l'arsenic juge que cette méthode de construction est plus appropriée que celle de l'OEHHA et préconise de retenir l'ERU de l'US-EPA. Compte tenu de cette analyse, nous suivons les recommandations de l'INERIS et retenons la valeur de l'OEHHA de 4,3.10-3 $(\mu g/m^3)^{-1}$. On notera toutefois que les valeurs de l'US EPA et de l'OEHHA sont très proches.

Les VTR proposées pour les effets à seuil par inhalation chronique de l'arsenic sont présentées dans le TABLEAU 67.

TABLEAU 67 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INHALATION DE L'ARSENIC

Substance	VTR_i $(\mu g/m^3)$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Arsenic	1	Cancer du poumon, étude sur l'homme, RIVM, 2001
	0,015	Diminution de la capacité intellectuelle chez les enfants, étude sur l'homme, OEHHA 2008

Source : RIVM - OEHHA

Compte tenu du manque de transparence dans l'établissement de la VTR proposée par le RIVM (il n'est pas fait mention de l'étude ayant permis d'établir le LOAEC, ce LOAEC n'a pas été retrouvé dans le rapport de l'ATSDR de 1999 dont est issu cette valeur), nous ne retenons pas cette valeur.

La valeur proposée par l'OEHHA est une extrapolation à partir de la VTR établie pour la voie orale Cette dernière est jugée de bonne qualité par l'INERIS dans sa fiche toxicologique de 2010 et l'INERIS recommande ainsi que retenir la valeur de l'OEHHA pour une exposition chronique par inhalation à l'arsenic. Compte tenu des données disponibles, nous suivons le choix de l'INERIS et retenons la valeur de l'OEHHA.

Les ERU proposés pour les effets sans seuil par ingestion chronique de l'arsenic sont présentés dans le TABLEAU 68.

TABLEAU 68 – PRÉSENTATION DES ERU POUR LES EFFETS SANS SEUIL PAR INGESTION DE L'ARSENIC

Substance	ERU_i $(mg/kg\ pc/j)^{-1}$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Arsenic	1,5	Cancer de la peau, étude sur l'homme, US-EPA 1998
	2,7	Cancer de la peau, étude sur l'homme, Santé Canada, 2004
	1,5	Cancer de la peau, étude sur l'homme, OEHHA, 2009

Source : US-EPA - Santé Canada - OEHHA

Pour les effets sans seuil par ingestion d'arsenic, l'OEHHA propose la même valeur que l'US-EPA. La valeur de Santé Canada présente des contradictions dans les explications données et les valeurs utilisées pour sa construction. Aussi, nous retenons celles de l'OEHHA et de l'US-EPA et suivons le choix de l'INERIS dans sa fiche de 2010.

Les VTR proposées pour les effets à seuil par ingestion chronique de l'arsenic sont présentées dans le TABLEAU 69.

TABLEAU 69 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS SANS SEUIL PAR INGESTION DE L'ARSENIC

Substance	VTR_i $(mg/kg\ pc/j)$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Arsenic	3.10^{-4}	Troubles cutanées, études sur l'homme, ATSDR, 2007
	3.10^{-4}	Troubles cutanées, études sur l'homme, US-EPA, 1993
	1.10^{-3}	Troubles cutanées, études sur l'homme, RIVM, 2001
	$3,5.10^{-6}$	Diminution de la capacité intellectuelle chez les enfants, étude sur l'homme, OEHHA 2008
	$4,5.10^{-4}$	Troubles cutanées, études sur l'homme, FoBiG, 2009

Source : ATSDR - US-EPA - RIVM - OEHHA - FoBiG

Cinq organismes proposent des VTR pour une exposition par ingestion à l'arsenic. L'US-EPA et l'ATSDR propose la même valeur toxicologique de référence à partir des mêmes études épidémiologiques liées à la consommation d'eau de boisson. Un NOAEL basé sur une moyenne arithmétique est retenu pour élaborer la VTR.

Le RIVM s'appuie sur une valeur provisoire proposée par l'OMS en 1996 sans mention des sources utilisées. Or, dans son nouveau rapport de 2008, l'OMS ne propose plus de valeur pour l'arsenic. La valeur du RIVM est donc écartée du choix des VTR.

L'OEHHA a élaboré une VTR pour l'ingestion d'arsenic à partir des études épidémiologiques qui rapportent une diminution des capacités intellectuelles et des effets néfastes sur le comportement chez 200 enfants âgés de 10 ans, exposés depuis leur naissance via l'eau de boisson.

Par ailleurs, les chercheurs du FoBiG ont quant à eux dérivés une VTR à partir d'une étude transversale de plus de 10 000 personnes, dans laquelle les différences de lésions cutanées observées, en fonction du sexe et du statut nutritionnel, ont été prises en compte. L'ensemble des sources de contaminations (eau de boisson et alimentation) a été considéré.

Une benchmark Dose a pu être calculée. De par sa construction, cette VTR est plus robuste et plus solide que les autres VTR disponibles et nous retenons dons la valeur du FoBiG dans le cadre de cette étude. Nous suivons ainsi le raisonnement et le choix de l'INERIS dans sa fiche de 2010 toxicologique sur l'arsenic.

10.3.2 - Benzène

Le benzène, retrouvé dans l'air, l'eau et le sol, peut être d'origine naturelle (volcans, feux de forêts, pétrole ou gaz naturel) mais il a surtout une origine anthropique (gaz d'échappement, manufactures, industrie, fumée de tabac).

La forme gazeuse du benzène est caractérisée par une odeur agréable qui peut provoquer, à des concentrations élevées, une narcose similaire à celle observée pour d'autres gaz anesthésiants. L'exposition aiguë à plusieurs centaines de ppm agit sur le système nerveux central entraînant notamment des états de somnolence, d'ébriété et des maux de tête. Des expositions plus faibles mais prolongées peuvent altérer la mémoire et certaines capacités psychiques. Enfin, le benzène est responsable d'effets irritants sur la peau et les muqueuses (oculaires et respiratoires en particulier).

En exposition chronique, cette substance se distingue, pour l'espèce humaine, par sa grande toxicité pour les cellules sanguines et les organes qui les produisent (moelle osseuse). Ceci se manifeste par une réduction des globules rouges, blancs ou des plaquettes. L'importance de ces effets est fonction des doses de benzène auxquelles le sujet est exposé. L'affection qui préoccupe le plus, tant au niveau professionnel qu'environnemental, est la survenue de cancers du sang liés à l'exposition répétée à des concentrations de benzène de quelques ppm pendant plusieurs dizaines d'années. En effet, celui-ci provoque certaines leucémies myéloïdes. Ces atteintes surviendraient plus fréquemment après des expositions faibles et continues plutôt qu'élevées et intermittentes (pics de pollution). Elles sont souvent précédées par certaines des anomalies sanguines. De plus, il a été démontré chez l'animal que le benzène peut induire des altérations génétiques transmissibles à la descendance.

Le benzène est reconnu comme cancérogène (risque de leucémie) et génotoxique par le CIRC (groupe 1A).

L'inhalation de concentrations élevées entraîne une narcose similaire à celle observée pour d'autres gaz anesthésiants. Cette dépression du système nerveux central peut s'accompagner de convulsions, et la mort résulte d'une dépression respiratoire. L'exposition à 20 000 ppm (64 980 mg/m3) pendant 5 à 10 minutes est fatale. Dans les formes légères d'intoxication, une excitation puis des troubles de la parole, des céphalées, des vertiges, des insomnies, des nausées, des paresthésies dans les mains et les pieds et de la fatigue sont rapportés.

Le benzène est étudié dans cette étude pour ses effets à seuil (en exposition chronique et en exposition aigue) et sans seuil par inhalation.

Les VTR proposées pour les effets à seuil par inhalation chronique du benzène sont présentées dans le TABLEAU 70.

TABLEAU 70 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INHALATION DU BENZÈNE

Substance	VTR_i ($\mu g/m^3$)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Benzène	30	Diminution des lymphocytes, étude sur l'homme, US-EPA, 2003
	10	Diminution des lymphocytes B, étude sur l'homme, ATSDR, 2007
	3	Effet sur les systèmes hématopoïétiques, étude sur l'homme, OEHHA, 2014

Source : OEHHA - US-EPA

Pour les effets à seuil (non cancérogènes) par inhalation, trois valeurs sont proposées à partir d'études épidémiologiques. La valeur de l'ATSDR est basée sur une étude postérieure à l'évaluation réalisée par l'US-EPA. Cette étude (Lan et al., 2004) a été privilégiée par rapport à celle choisie par l'US- EPA (Rothman et al., 1996) car basée sur une cohorte plus importante. La VTR de l'ATSDR paraît donc plus pertinente que celle de

l'US-EPA. Par ailleurs, l'OEHHA et l'ATSDR s'appuient sur la même étude épidémiologique pour proposer leur VTR. A qualité d'études égales, l'ATSDR est privilégié par rapport à l'OEHHA [Note d'information DGS du 31 octobre 2014]. Le choix réalisé suit les recommandations de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation de l'Environnement et du Travail (ANSES, 2008) qui retient comme Valeur Guide de la Qualité de l'Air Intérieur la VTR de l'ATSDR pour plusieurs raisons :

- Le nombre d'individus est plus important (240 versus 44) ;
- Le nombre de groupes d'exposition est plus important (3 versus 2) ;
- Les concentrations d'exposition au benzène sont plus faibles.

Les ERU proposés pour les effets sans seuil par inhalation chronique de benzène sont présentés dans le TABLEAU 71.

TABLEAU 71 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS SANS SEUIL PAR INHALATION DU BENZÈNE

Substance	ERU_i $(\mu g/m^3)^{-1}$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Benzène	$2,2.10^{-6}$ à $7,8.10^{-6}$	Leucémie, étude sur l'homme, US-EPA, 2000
	$4,4.10^{-6}$ à $7,5.10^{-6}$	Leucémie, étude sur l'homme, OMS, 2000
	$3,3.10^{-6}$	Néoplasmes lymphatiques et hématopoïétiques et leucémies, étude sur l'homme, Santé Canada, 1991
	5.10^{-6}	Leucémie, étude sur l'homme, RIVM, 2001
	$2,9.10^{-5}$	Leucémie, études sur l'homme et l'animal, OEHHA, 2002
	$2,6.10^{-5}$	Leucémies aiguës, étude sur l'homme, ANSES 2014

Source : US-EPA - OMS - Santé Canada - RIVM - OEHHA - ANSES

Pour les effets sans seuil (cancérogènes) par inhalation, six organismes proposent des valeurs à partir d'études sur l'homme. À qualité d'études égales, nous retenons l'excès de risque unitaire fixé par l'ANSES, 2,6.10-5 $(\mu g/m^3)^{-1}$ conformément à la note d'information de la DGS du 31 octobre 2014. Cette valeur bénéficie par ailleurs d'un fort niveau de confiance en raison de la qualité de l'étude retenue, du choix de l'effet critique retenu (études épidémiologiques de bonne qualité scientifique et effets cohérents avec les études toxicologiques) et de la dose critique retenu.

Les VTR proposées pour l'exposition aigue au benzène sont présentées dans le TABLEAU 72.

TABLEAU 72 – PRÉSENTATION DES VTR POUR DES EFFETS EN EXPOSITION AIGUË POUR LE BENZÈNE

Substance	VTR $(\mu g/m^3)$	Durée d'exposition	Effets critiques associés, type d'étude et source
Benzène	30	1-14 jours	Effets immunologiques, étude sur l'animal, ATSDR, 2007
	3	8 heures	Effets hématologiques, études sur l'homme, OEHHA, 2014
	27	1 heure	Effets sur le développement, le système immunitaire et hématologique, études sur l'animal, OEHHA, 2014

Source : ATSDR - OEHHA

Dans le cadre de cette étude, pour rendre compte des risques sanitaires aigus du benzène, nous retenons la valeur de l'ATSDR en accord avec à la note d'information de la DGS du 30 octobre 2014.

10.3.3 - Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques - HAP

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) forment un vaste groupe de composés. Ils se présentent le plus souvent sous forme de mélanges complexes. L'US-EPA a établi une liste de 16 HAP à analyser en priorité dans un mélange. Parmi les HAP, le **benzo(a)pyrène (B(a)P)** est considéré comme la molécule la plus toxique.

Le **benzo(a)pyrène** peut être absorbé par voie orale, pulmonaire ou cutanée. Après absorption, il est rapidement et largement distribué. L'absorption à travers l'épithélium pulmonaire est rapide. Le produit est stocké dans les tissus adipeux et mammaires.

Le benzo(a)pyrène est considéré comme un cancérogène local et systémique pour de nombreuses espèces animales. Des effets mutagènes ont été démontrés chez l'animal (il se fixe sur l'ADN) et sont soupçonnés chez l'humain.

Le CIRC a classé le benzo(a)pyrène dans le groupe 2A, cancérogène probable pour l'homme (preuves limitées chez l'homme, suffisantes chez l'animal). L'US EPA a classé le composé dans le groupe 2B (preuves non adéquates chez l'homme, suffisantes chez l'animal).

Dans le cadre de cette étude le benzo(a)pyrène est étudié pour ses effets à seuil et sans seuil par inhalation et par ingestion.

Pour les effets sans seuil, pour une exposition par inhalation les ERU existantes sont présentées dans le TABLEAU 73.

TABLEAU 73 – PRÉSENTATION DES ERU POUR LES EFFETS SANS SEUILPAR INHALATION DE BENZO(A)PYRÈNE

Substance	ERU_i $(\mu g/m^3)^{-1}$	Organisme, année et effet critique
Mélange de HAP de cokerie	$8{,}7.10^{-2}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OMS, 2000
Benzo(a)pyrène	$1{,}1.10^{-3}$	Cancer du tractus respiratoire supérieur, études sur l'animal, OEHHA, 2002
	Valeur provisoire : $3{,}13.10^{-5}$	Cancer du tractus respiratoire supérieur, études chez l'animal, Santé Canada, 1993
	6.10^{-4}	Cancer de la région gastro-intestinale et de l'appareil respiratoire supérieur, étude sur l'animal, US-EPA, 2017

Source : OMS - OEHHA - Santé Canada - US-EPA

La valeur de Santé Canada n'est pas retenue car elle est provisoire. La valeur de l'OMS (2000), établie à partir de données épidémiologiques chez des salariés travaillant dans une cokerie et exposés à un mélange de HAP (et donc non spécifique au B(a)P) n'est pas applicable dans le présent cas.

Deux organismes proposent des ERU spécifiquement établis pour le benzo(a)pyrène, l'OEHHA et l'US-EPA se basant sur la même étude sur des hamsters. Seule la méthode d'extrapolation pour le calcul de l'ERU diffère. Aussi, en accord avec à la note d'information de la DGS du 30 octobre 2014.nous retenons la valeur de l'US-EPA, plus récente et préférée à l'organisme de l'OEHHA.

Pour les effets à seuil par inhalation, les VTR proposées sont présentées dans le TABLEAU 74.

TABLEAU 74 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS À SEUILPAR INHALATION DE BENZO(A)PYRÈNE

Substance	VTR_i ($\mu g/m^3$)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Benzo(a)pyrène	2.10^{-3}	Effet sur le développement, étude sur l'animal, US-EPA 2017

Source : US-EPA

Seul l'US-EPA propose une VTR pour des effets à seuil par inhalation du benzo(a)pyrène avec un niveau de confiance moyen à faible. En l'absence d'autre valeur disponible nous retenons donc la VTR de l'US-EPA pour la suite de cette étude.

Pour les effets sans seuil par voie orale, les VTR existantes sont présentées dans le TABLEAU 75.

TABLEAU 75 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS SANS SEUIL PAR INGESTION DES HAP

Substance	ERU_o $(mg/kg\ pc/j)^{-1}$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Benzo(a)pyrène	1	Cancer de l'estomac, trachée et œsophage, études (2) sur l'animal, US-EPA 2017
	12	Cancer de l'estomac, des poumons et leucémie, études sur l'animal, OEHHA, 2002
	0,2	Cancers du foie, estomac, intestin grêle, rein, œsophage, cavité orale, peau, glande mammaire, canal auditif, études chez l'animal, RIVM, 2001

Source : US-EPA - OEHHA - RIVM

Trois organismes proposent des ERU pour la voie orale spécifiquement établis pour le benzo(a)pyrène, l'OEHHA, l'US-EPA et le RIVM se basant sur des études sur l'animal.

Nous choisissons de retenir la valeur de l'US-EPA, s'appuyant sur deux études sur l'animal (dont une ayant servie à l'établissement de l'ERU du RIVM), plus récente et en accord avec la note d'information de la DGS du 30 octobre 2014

Pour les effets à seuil par voie orale, les VTR existantes sont présentées dans le TABLEAU 76.

TABLEAU 76 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INGESTION DU BENZO(A)PYRÈNE

Substance	VTR_o $(mg/kg\ pc/j)$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Benzo(a)pyrène	3.10^{-4}	Effet sur le développement (y compris neurologique), études sur l'animal, US-EPA 2017

Source : US-EPA

Seul l'US-EPA propose une VTR pour la voie orale d'exposition au benzo(a)pyrène à partir d'une étude sur des rats avec un niveau de confiance moyen. À défaut d'autres données, nous retenons la seule valeur disponible pour cette exposition.

10.3.4 - 1,3-butadiène

Le 1,3-butadiène est un gaz produit lors de la fabrication d'éthylène et utilisé en synthèse organique, dans la fabrication des caoutchoucs, des résines, d'émulsions latex styrène-butadiène et du néoprène. Les concentrations ubiquitaires dans l'air sont de 0,2 $\mu g.m^{-3}$.

Chez l'homme, la toxicité s'observe essentiellement par inhalation. Des effets hématologiques minimes sont retrouvés (exposition à 20 ppm de 1,3-butadiène) et, potentiellement, des effets cardiovasculaires. Chez

l'animal, la toxicité s'observe également par inhalation. Plusieurs effets sont décrits : nécrose du foie, atrophie des organes génitaux, modifications des cavités nasales (inflammation, fibrose, métaplasie…), hyperplasie de l'estomac et de l'épithélium respiratoire et altérations rénales. Chez l'homme, il semble qu'il existe un lien entre la survenue de leucémies et les expositions au 1,3-butadiène.

Deux types d'effets sont étudiés pour le 1,3-butadiène dans la présente étude : les effets à seuil et les effets sans seuil par inhalation.

Les VTR proposées pour les effets à seuil par inhalation chronique du 1,3 butadiène sont présentées dans le TABLEAU 77.

TABLEAU 77 – PRÉSENTATION DES VTR PAR INHALATION DU 1,3-BUTADIÈNE

Substance	VTRi ($\mu g/m^3$)	Effets critiques associés, type d'étude et source
1,3-butadiène	2	Effets d'atrophie ovarienne, étude sur l'animal, OEHHA, 2013
	2	Effets d'atrophie ovarienne, étude sur l'animal, US-EPA, 2002

Source : OEHHA - US-EPA

Pour les effets chroniques à seuil par inhalation, deux organismes proposent une valeur identique : l'OEHHA et l'US-EPA. Ces organismes se sont basés sur la même étude pour calculer un benchmark dose. Nous retenons donc la valeur proposée à la fois par l'US-EPA et l'OEHHA

Les ERU proposés pour les effets sans seuil par inhalation chronique du 1,3 butadiène sont présentés dans la TABLEAU 78.

TABLEAU 78 – PRÉSENTATION DES ERU PAR INHALATION DU 1,3-BUTADIÈNE

Substance	ERU_i $(\mu g/m^3)^{-1}$	Effets critiques associés, type d'étude et source
1,3-butadiène	$1{,}7.10^{-4}$	Cancer des poumons et des bronches, étude sur l'animal, OEHHA, 2008
	6.10^{-6}	Leucémie, étude sur l'homme, Santé Canada 2000
	6.10^{-6}	Leucémie, étude sur l'homme, OMS 2001
	$3{,}5.10^{-5}$	Leucémie, étude sur l'homme, US-EPA, 2002

Source : OEHHA - Santé Canada - OMS - US-EPA

Pour des effets sans seuil, quatre organismes proposent une valeur: l'OEHHA, Santé Canada, et l'US -EPA. Santé Canada et l'OMS (IPCS) se basent sur une étude épidémiologique menée sur 15 000 travailleurs. L'étude établie une association entre l'exposition au 1,3-butadiène et l'apparition de leucémies. Néanmoins, ces travailleurs sont co-exposés au styrène et au benzène. De plus, Santé Canada indique que ces valeurs ne sont pas établies pour une utilisation dans le cadre d'évaluation de risques. Pour cette raison, la valeur n'est pas retenue. De même, la valeur de l'US-EPA qui se base sur l'analyse faite par Santé Canada en ajoutant un facteur d'incertitude de 2 pour protéger la population générale, n'est pas retenue. L'OEHHA se base sur plusieurs études expérimentales et choisit la plus pertinente pour calculer l'ERUi. L'étude utilisée est une étude de bonne qualité chez la souris, ne prenant en compte que les effets du 1,3-butadiène. Nous choisissions donc la valeur de l'OEHHA et suivons ainsi le choix de l'INERIS dans sa fiche de 2011 relative au 1,3-butadiène.

10.3.5 - Chrome

Dans l'atmosphère, le chrome existe surtout sous forme de particules et provient essentiellement de l'industrie chimique et de la combustion de gaz, charbon et pétrole. Les principales voies de pénétration dans l'organisme sont pulmonaires, digestives et accessoirement cutanées. Ce sont essentiellement les sels hexavalents hydrosolubles (acide chromique, chromate et bichromate de sodium et potassium…) qui sont à l'origine de la toxicité systémique et de la cancérogénicité du chrome.

Dans l'organisme, la majeure partie du chrome (VI) est transformée en chrome (III) après pénétration dans les globules rouges, mais aussi le foie, la surface des alvéoles pulmonaires et les macrophages alvéolaires.

Par inhalation, en exposition chronique, le tractus respiratoire est la principale cible d'expression de la toxicité du chrome. L'exposition répétée par inhalation de vapeurs et poussières de chrome peut provoquer, dès 2 µg/m3, des irritations, des épistaxis, un écoulement nasal chronique, du prurit, une sécheresse du nez, une perforation et une atrophie des muqueuses nasales, des bronchites et des diminutions de la fonction pulmonaire. Des cas d'asthme ont été observés chez des travailleurs sensibilisés.

Par ingestion en exposition chronique, des troubles gastro-intestinaux (ulcères) ont été rapportés par des travailleurs suite à la déglutition de particules inhalées. Mais ces effets gastro-intestinaux doivent être considérés avec précaution du fait de la méthodologie peu stricte des études à partir desquelles ils ont été rapportés.

Le Cr (VI) est cancérogène pour l'homme par inhalation (groupe 1 du CIRC et groupe A de l'US-EPA). Plusieurs études épidémiologiques en milieu professionnel ont montré une corrélation entre l'exposition au chrome et le cancer du poumon.

Dans le cadre de cette étude, nous retenons la forme chrome VI (forme la plus préoccupante) pour une exposition chronique, par inhalation, pour ses effets à seuil et sans seuil.

La forme chrome III sera retenue pour une exposition chronique, pour ses effets à seuil par ingestion. En effet, le chrome VI est largement transformé en chrome III dans les sols et les sédiments (favorisé en conditions anaérobiques et à un pH faible).

Les ERU proposés pour les effets sans seuil par inhalation chronique de chrome VI sont présentés dans le TABLEAU 79.

TABLEAU 79 – PRÉSENTATION DES ERU POUR LES EFFETS SANS SEUIL PAR INHALATION DU CHROME VI

Substance	ERU_i $(\mu g/m^3)^{-1}$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Chrome VI	$1{,}2.10^{-2}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, US-EPA, 1998
	$7{,}6.10^{-2}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, Santé Canada, 1993
	4.10^{-2}	Cancer du poumon, étude sur l'homme, RIVM, 1999
	4.10^{-2}	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OMS CICAD, 2013
	4.10^{-2}	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OMS, 2000
	$1{,}5.10^{-1}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OEHHA, 2002

Source : US-EPA - Santé Canada - RIVM - OMS CICAD - OEHHA

Les effets sans seuil par inhalation (risque cancérogène) pour le chrome VI ont été évalués par 6 organismes. Toutes les évaluations sont basées sur des études épidémiologiques. La valeur de l'OMS CICAD est basée sur des données issues d'une cohorte de salariés travaillant dans une usine de production de chrome (étude

de1979) réanalisées en 2000. Les valeurs de l'US-EPA, OEHHA et Santé Canada, se basent sur une même étude de 1975 et la valeur de de l'US-EPA est calculée à partir de l'exposition au chrome total.

L'INERIS dans son document de janvier 2018 sur le choix de valeur toxicologique de référence pour le chrome et les composés tri et hexavalents propose ainsi de retenir la valeur de l'OMS CICAD (cette valeur est par ailleurs identique à celle proposée par l'OMS en 2000 calculée à partir de 3 études épidémiologiques dont celle de 1979). Nous suivons ainsi les recommandations de l'INERIS.

Pour les effets à seuil par inhalation, plusieurs formes de chrome sont étudiées d'un point de vue toxicologique. Nous présentons dans le TABLEAU 80 les VTR proposées pour le chrome autre que sous forme aérosol ou soluble.

TABLEAU 80 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INHALATION DU CHROME VI PARTICULAIRE

Substance	VTR ($\mu g/m^3$)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Chrome VI	0,1 (forme particulaire)	Effets respiratoires, étude sur l'animal, US-EPA, 1998
	0,03	Effets pulmonaires, étude sur l'animal, OMS, 2013

Source : US-EPA - OMS

Pour les effets à seuil par inhalation, deux organismes proposent des VTR pour des formes de chrome autres qu'aérosol ou soluble. Elles s'appuient sur la même étude source avec des démarches cohérentes. Leur différence réside dans les extrapolations de l'animal à l'homme et les facteurs d'incertitude retenus. L'INERIS dans son document de janvier 2018 sur le choix de valeur toxicologique de référence pour le chrome et les composés tri et hexavalents retient la VTR de l'OMS en raison d'éléments plus récents ayant permis d'aboutir à cette valeur. Nous suivons le choix de l'INERIS qui qui précise que l'Indice de confiance vis-à-vis de cette valeur est moyen.

Les VTR proposées pour les effets à seuil par ingestion chronique de chrome III sont présentés dans le TABLEAU 81.

TABLEAU 81 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INGESTION DE CHROME III

Substance	ERU_o (mg/kg pc/j)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Chrome III (fraction insoluble)	1,5	Toxicité sur le foie, étude sur l'animal, US-EPA, 1998
	5	Toxicité sur le foie, étude sur l'animal, RIVM, 2001

Source : US-EPA - RIVM

Les effets à seuil par ingestion pour le chrome III ont été évalués par 2 organismes pour les composés insolubles du Cr III à partir de la même étude jugée de qualité recevable malgré le manque de transparence. L'INERIS dans son document de janvier 2018 sur le choix de valeur toxicologique de référence pour le chrome et ses composés tri et hexavalents retient la valeur de l'US-EPA en raison de la transparence dans la démarche d'élaboration de la VTR. Nous suivons le choix de l'INERIS.

10.3.6 - Dioxyde d'azote

Les oxydes d'azote (NOx) sont des gaz composés d'au moins une molécule d'azote et une molécule d'oxygène, il s'agit principalement du NO et du NO_2. Parmi les NOx, le dioxyde d'azote (NO_2) présente le plus grand intérêt sur le plan sanitaire.

La principale voie d'exposition du NO_2 est la voie aérienne, par exposition à l'air extérieur et intérieur des locaux et par le tabagisme. 80 à 90 % du NO_2 inhalé est absorbé et distribué à partir du système circulatoire dans tout

le corps après s'être dissout partiellement dans le mucus des voies respiratoires supérieures. Des études expérimentales chez le rat ont montré que le NO_2 était excrété via les urines.

Le NO_2 augmente la réactivité des bronches chez le sujet normal et chez l'asthmatique lorsque ceux-ci sont exposés à des agents bronchoconstricteurs et ceci, même à des niveaux qui n'affectent pas la fonction pulmonaire directement en l'absence de bronchoconstricteurs. Chez l'animal, il a été observé des œdèmes pulmonaires, un épaississement de la paroi alvéolaire et une perte ciliaire de l'épithélium bronchique en exposition aiguë (jusqu'à 3 jours) à de fortes concentrations (4 à 50 mg/m^3). Chez l'homme, les premiers signes cliniques se caractérisent par une toux légère, une irritation laryngée et oculaire qui disparaissent très vite.

La toxicité respiratoire du dioxyde d'azote, comparée aux autres polluants, est cependant assez faible. En raison de son interaction avec d'autres polluants, ce polluant est plus considéré comme un indicateur de pollution que pour sa toxicité propre.

Dans le cadre de cette étude, le dioxyde d'azote est retenu comme traceur de l'impact sanitaire pour ses effets à seuil par inhalation pour une exposition aiguë et chronique

Pour une exposition de type chronique par inhalation, la seule valeur de référence disponible est la valeur guide définie en moyenne annuelle par l'OMS (*cf.* TABLEAU 82) valeur indicative fixée pour protéger le grand public des effets sanitaire du dioxyde d'azote gazeux. Cette valeur est basée sur des changements légers de la fonction respiratoire chez les asthmatiques.

Cette valeur guide n'étant pas une VTR, elle ne pourra pas être utilisée pour le calcul d'indices de risque, conformément à la note d'information de la DGS N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, mais pourra être comparée aux concentrations moyennes annuelles dans l'air.

TABLEAU 82 – PRÉSENTATION DE LA VALEUR GUIDE POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INHALATION DES NOX

Substance	Valeur guide (µg/m^3)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Oxydes d'azote	40 (dioxyde d'azote)	Effets respiratoires, études sur l'homme, OMS, 2005

Source : OMS

Les valeurs toxicologiques proposées pour une exposition aiguë au NO_2 sont présentées dans le TABLEAU 83.

TABLEAU 83 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS EN EXPOSITION AIGUE POUR LE NO_2

Substance	VTR (µg/m^3)	Durée d'exposition	Effets critiques associés, type d'étude et source
Dioxyde d'azote	200	1 heure	Effets respiratoires, étude sur l'homme, OMS, 2000
	470	1 heure	Effets respiratoires, étude sur l'homme, OEHHA, 1999

Source : OEHHA - US-EPA

Deux organismes (OMS et OEHHA) proposent des valeurs toxicologiques pour une exposition aiguë au NO_2. Les 2 valeurs proposées proviennent d'études sur l'homme avec des effets critiques similaires relatifs à l'augmentation de la réactivité bronchique.

L'INERIS dans sa fiche toxicologique de 2011 sur le dioxyde d'azote ne retient pas la valeur de l'OEHHA car elle associe cette valeur à des seuils accidentels. Ainsi dans le cadre cette étude nous retenons la valeur guide de l'OMS de 200 µg/m^3.

Remarque : cette valeur de 200 µg/m^3 est reprise dans la réglementation française sur la qualité de l'air (article R221.1 du Code de l'environnement) comme une valeur limite pour la protection de la santé humaine. Toutefois, elle est assortie d'une fréquence de dépassement : « la valeur de 200 µg/m^3 ne doit pas être

dépassée plus de 18 heures par année civile de 365 jours (centile 99,8 des valeurs moyennes par heure ou par périodes inférieures à l'heure). »

10.3.7 - Nickel

Le nickel est présent naturellement dans l'environnement. Dans l'industrie, il est principalement utilisé pour la production d'aciers inoxydables et autres aciers spéciaux dans le but d'améliorer leurs propriétés mécaniques et leur résistance à la corrosion et à la chaleur. Le nickel est également utilisé pour la préparation d'alliages non ferreux pour la fabrication d'outils, d'ustensiles de cuisine et de ménage. Il est utilisé dans les revêtements électrolytiques des métaux et comme catalyseur en chimie organique.

62 % du nickel contenu dans l'air provient de la combustion de déchets et de fuel (ATSDR, 1997). Dans les fumées des incinérateurs, il est émis sous forme particulaire sans qu'il soit possible de différencier les différentes formes de nickel (métallique, oxydes, sulfates, silicates sous-sulfures et chlorures).

Par inhalation, les principaux effets portent sur une atteinte respiratoire (baisse de la capacité vitale, bronchite chronique, emphysème) mesurée dans des études en milieu professionnel. D'autres effets hématologiques, hépatiques et rénaux sont discutés.

Le CIRC (1990) a classé les composés du nickel dans le groupe 1 (cancérogène pour l'homme) et le nickel métallique dans le groupe 2B (probablement cancérogène pour l'homme). L'OMS distingue le nickel métal, cancérogène possible pour l'homme (groupe B2 : les données ne sont suffisantes que chez l'animal), des composés du nickel classés cancérogènes chez l'homme (classe 1 : les données sont suffisantes).

De nombreux composés du nickel existent et nous ne connaissons pas dans le cadre de cette étude la forme du nickel en présence. Nous faisons ainsi le choix de traiter des VTR qui concerne le plus de forme du nickel, à savoir le nickel et composés, ce qui exclut les formes de faible solubilité (à savoir oxyde de nickel et sous-sulfure de nickel).

Le nickel est étudié dans cette étude pour ses effets sans seuil et à seuil par inhalation et pour ses effets à seuil par ingestion

Les ERU proposés pour les effets sans seuil par inhalation chronique du nickel sont présentés dans le TABLEAU 84.

TABLEAU 84 – PRÉSENTATION DES ERU POUR LES EFFETS SANS SEUIL PAR INHALATION DU NICKEL

Substance	ERU_i $(\mu g/m^3)^{-1}$	Effets critiques associés, type d'étude et source
Nickel et ses composés	$3{,}8.10^{-4}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OMS, 2000
	$2{,}6.10^{-4}$	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OEHHA, 2011

Source : OMS - OEHHA

Pour les effets sans seuil par inhalation, 2 organismes (OMS et OEHHA) proposent des ERU à partir d'études épidémiologiques pour le nickel et ses composés. Ces valeurs sont construites à partir d'études chez des travailleurs de raffinerie de nickel qui sont jugées de qualité satisfaisante. L'INERIS dans sa fiche de choix de valeur toxicologique de référence pour le nickel et ses composés de janvier 2018, fait le choix de retenir la valeur de l'OEHHA dont la construction est relativement bien détaillée à contrario de celle de l'OMS. Nous suivons donc ce choix qui précise que l'Indice de confiance vis-à-vis de cette valeur est élevé.

Les VTR proposées pour les effets à seuil par inhalation chronique du nickel sont présentées dans le TABLEAU 85.

TABLEAU 85 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INHALATION DU NICKEL

Substance	VTR_i ($\mu g/m^3$)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Nickel et ses composés (hors oxyde de nickel)	0,09	Effets pulmonaires, étude sur l'animal, ATSDR, 2005
	0,014	Effets pulmonaires, étude sur l'animal, OEHHA, 2012
	0,05	Effets pulmonaires, étude sur l'animal, RIVM, 2001

Source : ATSDR - OEHHA - RIVM

Pour les effets à seuil par inhalation, trois organismes proposent une VTR pour le nickel et ses composés à partir d'une même étude. Les différences résultent donc dans la construction de ces VTR et les facteurs d'incertitude qui sont retenus. L'INERIS dans sa fiche de choix de valeur toxicologique de référence pour le nickel et ses composés de janvier 2018, fait le choix de retenir la valeur de l'ATSDR qui semble la plus appropriée pour la prise en compte des enfants. L'Indice de confiance vis-à-vis de cette valeur est élevé. Nous suivons donc ce choix qui est par ailleurs en accord avec la note d'information de la DGS N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

Pour une exposition par ingestion, les valeurs toxicologiques pour des effets à seuil du nickel sont présentées dans le TABLEAU 86.

TABLEAU 86 – PRÉSENTATION DES VTR POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INGESTION DU NICKEL

Substance	VTR_o (mg/kg pc/j)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Nickel et ses composés	2.10^{-2}	Baisse du poids corporel et des organes, étude sur l'animal, US-EPA, 1998
	5.10^{-3}	Baisse du poids corporel et des organes, étude sur l'animal, OMS, 2004
	$1,1.10^{-2}$	Effets sur la reproduction, étude sur l'animal, Santé Canada, 2010
	$2,8.10^{-3}$	Effet sur le développement, études sur l'animal, EFSA 2015
	5.10^{-2}	Baisse du poids corporel et des organes, étude sur l'animal, RIVM, 2001
	$1,12.10^{-2}$	Effets sur le développement, étude sur l'animal, OEHHA, 2012

Source : US-EPA - OMS - Santé Canada - EFSA - RIVM - OEHHA

Pour les effets à seuil par ingestion, des VTR sont proposées par 6 organismes. Trois d'entre eux (OMS, US-EPA et RIVM) s'appuient sur la même étude d'Ambrose et al. (1976) réalisée sur les rats. Seuls les facteurs d'incertitude diffèrent et l'effet retenu concerne une baisse du poids corporel et des organes. Les valeurs de l'OEHHA et de Santé Canada (identiques) sont basées sur la même étude de reprotoxicité avec un effet sur le développement. La valeur de l'EFSA est elle aussi basée sur cette même étude de reprotoxicité mais s'appuie également sur les résultats d'une autre étude de reprotoxicité afin de déterminer une BMDL.

L'INERIS dans son document de choix de valeur toxicologique de référence pour le nickel et ses composés de janvier 2018 estime que les effets critiques liés aux études de reprotoxicité sont plus pertinents et retient la valeur de l'EFSA qui utilise deux études de reprotoxicité et détermine une BMDL permettant de tenir compte de l'intégralité de la relation dose-réponse. Nous suivons donc le choix de l'INERIS.

10.3.8 - Poussières PM2.5 et PM10

Les poussières sont connues pour les risques d'affections respiratoires et cardiovasculaires qu'elles peuvent provoquer. Les poussières présentent des effets dits non spécifiques, liés principalement à leur taille qui conditionne elle-même le niveau de pénétration dans l'appareil respiratoire. Dans la partie inhalable des particules, nous distinguons, en fonction du Dae50 (diamètre aérodynamique médian), la fraction extrathoracique (Dae50 compris entre 10 et 100 µm), la fraction thoracique (Dae50 = 10 µm), la fraction trachéo-bronchique (Dae50 compris entre 4 et 10 µm) et la fraction alvéolaire dont le Dae50 est inférieur ou égal à 4 µm.

Les PM2.5 (diamètre inférieur à 2,5 µm) entraînent en plus de leurs effets non spécifiques, une augmentation des troubles liés aux autres éléments polluants présents de façon concomitante. Les études à long terme sont peu nombreuses, mais les principaux effets reconnus sont les suivants : réduction de la durée de vie, augmentation des cas de bronchites chez les enfants, réduction des capacités respiratoires chez les adultes et les enfants.

Les seules valeurs de référence disponibles pour une exposition de type chronique sont les valeurs guides pour la protection de la santé humaine définie en moyenne annuelle par l'OMS (*cf.* TABLEAU 87). Ces valeurs guide n'étant pas des VTR, elles ne pourront pas être utilisées pour le calcul d'indices de risque, conformément la note d'information de la DGS N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, mais pourront être comparées aux concentrations moyennes annuelles dans l'air.

TABLEAU 87 – PRÉSENTATION DES VALEURS GUIDE POUR LES EFFETS À SEUIL PAR INHALATION EN EXPOSITION CHRONIQUE DES PM2.5 ET PM10

Substances	Valeur Guide (µg/m^3)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Poussières PM_{10}	20	Effets respiratoires et mortalité par cancer, étude sur l'homme, OMS, 2005
Poussières $PM_{2.5}$	10	Effets respiratoires et mortalité par cancer, étude sur l'homme, OMS, 2005

Source : OMS

L'OMS considère que des effets sanitaires des PM2.5 peuvent être observés à partir d'une concentration dans l'air de 10 µg/m^3. Cette valeur correspond au niveau le plus bas pour lequel une augmentation significative de la mortalité par cancer a été observée dans l'étude ACS (American Cancer Society Study, Pope et al, 2002), avec une confiance supérieure à 95 %. La valeur de 20 µg/m^3 définie pour les PM10 est extrapolée à partir de la valeur utilisée pour PM2.5 en considérant un ratio PM2.5 / PM10 de 0,5.

En exposition aigue, les seules valeurs disponibles pour les particules PM10 et PM2.5 sont des valeurs guide définies pour la protection de la santé humaine (*cf.* TABLEAU 88). Elles sont proposées par l'OMS pour des expositions 24h à partir des valeurs guides établies pour une exposition chronique.

La valeur de 50 µg/m^3 définie pour les PM10 est extrapolée à partir de la valeur utilisée pour les PM2.5 en considérant un ratio PM2.5 / PM10 de 0,5. Ces valeurs sont également retenues par l'ANSES dans son document de janvier 2010 concernant les normes en air intérieur.

TABLEAU 88 – PRÉSENTATION DES VALEURS GUIDE DES PARTICULES POUR UNE EXPOSITION AIGUË DES PM2.5 ET PM10

Substances	Valeur Guide (µg/m^3)	Durée d'exposition	Effets critiques associés, type d'étude et source
Poussières $PM_{2.5}$	25	24h	Effets respiratoires et mortalité par cancer, étude sur l'homme, OMS, 2005
Poussières PM_{10}	50	24h	Effets respiratoires et mortalité par cancer, étude sur l'homme, OMS, 2005

Source : OMS

10.4 - Paramètres de calcul des doses ingérées

Les paramètres de calcul de la concentration dans les végétaux sont détaillés dans le TABLEAU 89 et le TABLEAU 90.

TABLEAU 89 – CONCENTRATION DE POLLUANTS DANS LES VÉGÉTAUX PAR TYPE DE VÉGÉTAUX

Type de végétal	k_p (an^{-1})	Y_p (kg MS/m^2)	T_p (an)	R_p	$VG_{partie\ aérienne}$
Légume feuille	18	2,24	0,164	0,39	0,01
Légume fruit	18	2,24	0,164	0,39	0,01
Légume racine	18	2,24	0,164	0,39	0,01
Fruits	18	2,24	0,164	0,39	0,01

Source : US-EPA/HHRAP, 2005

TABLEAU 90 – CONCENTRATIONS DE POLLUANTS DANS LES VÉGÉTAUX PAR TYPE DE POLLUANTS

Polluants	Fv	Bv (mg/kg_{MS} / mg/kg_{air})	BCF (mg/kg_{MS} / mg/kg_{sol})			
			Légume racine	Légume feuille	Légume fruit	Fruits
Cd	0,009	0	6,40E-02	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01
Hg	0	0	9,90E-02	2,94E-02	2,94E-02	2,94E-02
As	0,006	0	8,00E-03	6,33E-03	6,33E-03	6,33E-03
Cr III	0	0	4,50E-03	4,88E-03	4,88E-03	4,88E-03
Ni	0	0	8,00E-03	9,31E-03	9,31E-03	9,31E-03
Pb	0,007	0	9,00E-03	1,36E-02	1,36E-02	1,36E-02
Benzo(a)pyrène	0,294	1,25E+05	6,05E-02	1,32E-02	1,32E-02	1,32E-02

NB : en l'absence de donnés identifiées dans HHRAP pour les PCB nous retenons celles des dioxines*

La quantité de sol ingérée par un adulte est de 50 mg/j, valeur que conseille de retenir l'US-EPA [2011]. Pour les enfants, l'US-EPA a estimé que 100 mg/j était une valeur moyenne représentative de l'ingestion de sol par les enfants de moins de six ans. L'US-EPA a aussi utilisé 200 mg/j comme valeur moyenne précautionneuse. À partir de ces données, nous retenons la valeur raisonnablement majorante de 150 mg/j qui est aussi utilisée par l'INERIS pour la méthode de calcul des VCI dans les sols [2001].

Pour le poids corporel, la source de données françaises la plus récente pour le poids corporel est l'enquête décennale santé 2002-2003 de l'INSEE. Ces résultats sont disponibles dans l'article de Tanguy [2007]. Les poids des différents scénarios sont les moyennes des poids corporels français médians déclarés des différentes classes d'âge. Nous retenons ici les poids moyens des enfants entre 0 et 3 ans pour la crèche et le poids moyen des enfants entre 3 et 10 ans pour l'école primaire.

Les paramètres de calcul des doses ingérées sont détaillés dans le TABLEAU 91.

TABLEAU 91 – PARAMÈTRES PHYSIOLOGIQUES D'EXPOSITION

	Enfant (0-3 ans)	Enfant (6 -10 ans)	Enfant (3 -10 ans)	Enfant (1 à 7 ans)	Adulte
Poids corporel (kg)	5,9	28,7	25,9	17,9	62,6
Q sol ingérée (mg sol/jr)	150	150	150	150	50

Les quantités d'aliments autoconsommés par les adultes sont calculées sur la base des données de consommation alimentaire de l'INSEE (1991) disponibles sur la ZEAT de la région méditerranée. Celles autoconsommées par les enfants sont calculées à partir des valeurs des adultes en appliquant un ratio de consommation défini à partir des données INCA (1999) et SOFRES (1997). Les quantités d'aliments autoconsommés par les enfants et les adultes sont précisées dans le TABLEAU 92.

TABLEAU 92 – QUANTITÉS D'ALIMENTS AUTOCONSOMMÉS

Type de végétal	Autoconsommation dans la ZAET Méditerranée (g/j)	
	Enfants de 3-5 ans	Adultes
Légumes feuilles	4.36	9.07
Légumes racines	11.19	17.64
Légumes fruits	3.96	8.33
Fruits	9.11	16.11

Source : INSEE – INCA - SOFRES

Les différentes catégories d'aliments sont définies comme suit :

- À partir de l'étude Alliance-SOFRES-CHU/Dijon 1997 (Boggio, 1999) :
- La catégorie "légumes-racines" a été définie à partir des consommations de pommes de terre, de carottes, de betteraves, de salsifis, de céleris, de navets, d'oignons, d'échalotes et de champignons ;
- La catégorie "légumes-feuilles" a été définie à partir des consommations de choux fleurs, brocolis, choux-rouges et choux-feuilles, choux de Bruxelles, laitues, épinards et bettes, endives, haricots verts, poireaux, fenouils, persil et artichauts ;
- La catégorie "légumes-fruits" a été définie à partir des consommations d'amandes, de noix, de poires, de pommes, de pêches, de cerises, de pruneaux, d'abricots, de raisin, de fraises, de framboises et de figues ;
- À partir de l'étude INCA 1999 :
- La catégorie "fruits" comprend la rubrique "fruits" et la rubrique "compotes et fruits cuits" ;
- La catégorie "fruits et légumes" comprend les rubriques citées précédemment pour les fruits et les "légumes (hors pommes de terre)" et les "pommes de terre et dérivés" ;
- La catégorie "céréales" comprend les rubriques "pain biscottes", "céréales petit déjeuner", "pâtes" et "riz et semoules" ;
- La catégorie "viande" comprend la rubrique "viande" et la rubrique "charcuterie" ;
- La catégorie "liquides" comprend les rubriques "eaux", "jus de fruits et sodas", "café", "thé et boissons chaudes" et "soupes".

Business Unit Grands Ouvrages – Eau – Environnement - Énergie

communication.egis@egis.fr

www.egis-group.com