Mars 2021

RIVIERE-LETELLIER

Projet "ZAC de la Rucherie" - Bussy-Saint-Georges (77)

Etude Air et Santé

Références : Rapport ARIA/2021.010
Documents associés : Rapport Etat Initial ARIA 2020.046_V2

Type de document : Rapport d'études
Avancement du document : Version 1
Accessibilité : Restreint

ARIA Technologies SA
8-10 rue de la Ferme – 92100 Boulogne Billancourt
Tél. : +33 (0)1 46 08 68 60 – Fax : +33 (0)1 41 41 93 17 – E-mail : info@aria.fr - http:/ /www.aria.fr
S.A au capital de 779 947 € - SIRET 379 180 474 00049 – Code APE 6201Z – RCS Nanterre B 379 180 474

ARIA Technologies	**Projet "ZAC de la Rucherie" - Bussy-Saint-Georges (77) - Etude Air et Santé**						
N° Action ARIA	20.219						
N° rapport ARIA	21.010						
Nombre de pages	127	**Nombre de figures**	61	**Nombre de tableaux**	59	**Nombre d'annexes**	5
Auteur(s)	ARIA Technologies, Aude HERVOUIN Ingénieure d'études Qualité de l'Air						
Sous-traitants	-						

Intérêt documentaire			Accessibilité	Confidentielle		Libre	
Oui		Non		ARIA Technologies		Restreinte	

Etat du document	Rédacteur Nom/Date	Relecteur Nom/Date
Version 1	Aude HERVOUIN Le 19/03/2021	Lydia RICOLLEAU Le 26/03/2021
Version 2	Lydia RICOLLEAU Le 07/05/2021	-

Diffusion	Date	DESTINATAIRES	Nombre
Informatique	07/05/2021	RIVIERE-LETELLIER	1

SOMMAIRE

1. CADRE DE L'ETUDE 8

2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE 9

2.1 Localisation du projet 9
2.2 Population 10
2.2.1 Population générale 10
1.1.1.1 Recensement de la population 10
1.1.1.2 Localisation des zones habitées et densité de population 11
2.2.2 Populations sensibles 13
2.3 Trafic prévisionnel 15
2.4 Définition du domaine d'étude et des bandes d'études 19
2.5 Niveau d'étude retenu 21
2.5.1 Niveau d'étude à retenir 21
2.5.2 Contenu de l'étude 22

3. ESTIMATION DES EMISSIONS LIEES AU TRAFIC ROUTIER 24

3.1 Méthodologie 24
3.2 Données d'entrée 24
3.2.1 Répartition par catégories de véhicules 24
3.2.2 Facteurs d'émissions 25
3.2.3 Données de trafic 25
3.3 Résultats des émissions de polluants et des Gaz à Effet de Serre 27
3.3.1 Tableaux de résultats 27
3.3.2 Cartographies 29

4. IMPACT DU PROJET SUR LA QUALITE DE L'AIR 33

4.1 Présentation du logiciel de dispersion et paramétrages 33
4.1.1 Présentation générale du logiciel 33
4.1.2 Paramétrages du modèle de dispersion 34
4.1.3 Calcul des dépôts au sol 34
4.1.4 Caractéristiques des espèces 34
4.2 Données d'entrée pour les simulations 35
4.2.1 Emissions 35
4.2.2 Météorologie 35
4.2.3 Topographie 36
4.3 Résultats des simulations de la dispersion atmosphérique 37
4.3.1 Présentation des résultats 37
4.3.1.1 Pollution de fond 37
4.3.1.2 Points cibles 38
4.3.1.3 Valeurs réglementaires de la qualité de l'air 39
4.3.2 Comparaison avec les mesures in situ 40
4.3.3 Evolution des concentrations entre les scénarios 42

5. IMPACT SUR LA SANTE 53

5.1 Indice Polluant/Population (IPP) 53
5.1.1 Méthodologie 53
5.1.2 Résultats 55
5.1.2.1 Synthèse 55
5.1.2.2 Histogramme de distribution 55
5.2 Evaluation des risques sanitaires 60

6. MONÉTARISATION ET ANALYSE DES COÛTS COLLECTIFS 90

6.1 Coûts collectifs des pollutions et nuisances 90
6.1.1 Méthodologie 90
6.1.2 Valeurs retenues pour le calcul des coûts collectifs 91
6.1.3 Résultats des coûts collectifs induits 92
6.2 Coûts liés à l'effet de serre 94

7. IMPACT DU PROJET EN PHASE CHANTIER 96

8. MESURES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE 97

8.1.1 Réduction des émissions polluantes à la source 97
8.1.2 Implantation de zones tampon 98
8.1.3 Utilisation de process dépolluant 98
8.1.4 Mise en place de panneaux/murs biofiltrants 99

9. SYNTHESE 100

ANNEXE 1 : GENERALITES SUR LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE 105

ANNEXE 2 : DESCRIPTION DU LOGICIEL ARIA IMPACT 111

ANNEXE 3 : DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS LES SOLS ET LES VEGETAUX 117

ANNEXE 4 : DETAIL DES QUOTIENTS DE DANGER CALCULES 122

ANNEXE 5 : DETAIL DES EXCES DE RISQUE INDIVIDUEL CALCULES 125

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : Evolution de la population par commune (INSEE 2019) 11
Tableau 2 : Population par commune (INSEE 2020 sur la base des données 2017) 11
Tableau 3 : critères permettant de définir la largeur minimale de la bande d'étude 19
Tableau 4 : définition des niveaux d'étude "Loi sur l'air" 21
Tableau 5 : bilan des émissions en polluants atmosphériques sur le domaine d'étude 27
Tableau 6 : contribution de l'autoroute A4 sur les émissions de NOx 28
Tableau 7 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées 34
Tableau 8 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent toutes directions confondues 36
Tableau 9 : valeurs de bruit de fond retenues 37
Tableau 10 : points cibles 38
Tableau 11 : réglementation en vigueur en France pour la santé humaine (source : code de l'environnement, Titre II Livre II et OMS 2005) 39
Tableau 12 : comparaison des résultats de la modélisation avec les mesures 40
Tableau 13 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs - NO_2 43
Tableau 14 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs - PM10 et PM2,544
Tableau 15 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs – COV, benzène et SO_2 45
Tableau 16 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs – arsenic, nickel et chrome 46
Tableau 17 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs – 1,3 butadiène, benzo(a)pyrène et 16 HAP 47
Tableau 18 : pourcentage de la population exposée à chaque tranche de concentrations 56
Tableau 19 : substances retenues et impact sur la santé 61
Tableau 20 : classifications CIRC, US-EPA et Union Européenne pour les effets cancérigènes 63
Tableau 21 : identification des dangers par substances 64
Tableau 22 : facteur d'équivalent toxique pour les substances cancérigènes 67
Tableau 23 : valeurs guides pour les risques chroniques 68
Tableau 24 : valeurs guides pour les risques aigus 68
Tableau 25 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques à seuil 68
Tableau 26 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques sans seuil 69
Tableau 27 : récapitulatif des scénarios retenus 70
Tableau 28 : concentrations retenues pour chaque situation et pour les scénarios d'exposition « Habitant Majorant » et « Habitant Moyen » 72
Tableau 29 : concentrations retenues pour chaque situation et pour les scénarios d'exposition « Travailleur » et « Maraîcher » 73
Tableau 30 : concentration en moyenne annuelle et valeurs guides OMS 74
Tableau 31 : concentration en centile 100 (concentration maximale) et valeurs guides OMS 76
Tableau 32 : Durées d'exposition retenues par scénario 77
Tableau 33 : doses d'exposition par inhalation pour les effets à seuil 79
Tableau 34 : doses d'exposition par inhalation pour les effets sans seuil 80
Tableau 35 : paramètres relatifs aux différentes catégories d'âge (données INERIS) 83
Tableau 36 : fraction d'aliments auto-produits (données INERIS) 83
Tableau 37 : Dose Journalière d'Exposition totale pour chaque tranche d'âge (en mg/kg/jour) – Scénario Maraîcher 84
Tableau 38 : Dose Journalière d'Exposition totale pour chaque tranche d'âge (en mg/kg/jour) – Scénario Habitant Majorant 84

Tableau 39 : valeurs tutélaires pour le transport routier (émissions dues à la combustion et à l'usure) (source : fiche-outils Ministère de la Transition Ecologique, 2019) 90
Tableau 40 : densité de population des zones traversées par l'infrastructure (fiche-outils Ministère de la Transition Ecologique, 2019) 91
Tableau 41 : évolution globale par rapport à l'année 2015 appliquée aux valeurs tutélaires 92
Tableau 42 : valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique projetées aux horizons de calcul 92
Tableau 43 : quantité de trafic 92
Tableau 44 : coûts collectifs induits par le trafic automobile par jour 92
Tableau 45 : valeurs tutélaires du carbone (source : fiche-outils Ministère de la Transition Ecologique, 2019) 94
Tableau 46 : émissions de GES en équivalent CO_2 (t/jour) 95
Tableau 47 : coûts liés à l'effet de serre 95
Tableau 48 : récapitulatif des scénarios retenus 102
Tableau 49 : facteurs relatifs aux végétaux 120
Tableau 50 : facteurs de bioconcentration air/plante (B_v exprimés par rapport à la plante fraîche) 120
Tableau 51 : facteurs de bioconcentration sol/plante (B_r exprimés par rapport à la plante fraîche) 121
Tableau 52 : Quotient de danger – Scénario Habitant Moyen 123
Tableau 53 : Quotient de danger – Scénario Habitant Majorant 123
Tableau 54 : Quotient de danger – Scénario Maraîcher 124
Tableau 55 : Quotient de danger – Scénario Travailleur 124
Tableau 56 : Excès de Risque Individuel – Scénario Habitant Moyen 126
Tableau 57 : Excès de Risque Individuel – Scénario Habitant Majorant 126
Tableau 58 : Excès de Risque Individuel – Scénario Maraîcher 126
Tableau 59 : Excès de Risque Individuel – Scénario Travailleur 127

FIGURES

Figure 1 : localisation des projets 9
Figure 2 : Contour des communes à proximité du projet 10
Figure 3 : Densité de population en 2015 dans la zone d'intérêt (données INSEE) 12
Figure 4 : Localisation des établissements sensibles 14
Figure 5 : trafic en TMJ, scénario initial 2019 (source : CDVia) 15
Figure 6 : trafic en TMJ, scénario fil de l'eau 2025 (source : CDVia) 16
Figure 7 : trafic en TMJ, scénario avec projet 2025 (source : CDVia) 16
Figure 8 : trafic en TMJ, scénario fil de l'eau 2035 (source : CDVia) 17
Figure 9 : trafic en TMJ, scénario avec projet 2035 (source : CDVia) 17
Figure 10 : évolution du trafic entre les scénarios fil de l'eau et projet 2025 18
Figure 11 : évolution du trafic entre les scénarios fil de l'eau et projet 2035 18
Figure 12 : bande d'étude et domaine d'étude 20
Figure 13 : synthèse du contenu attendu de l'étude de la solution retenue (source : CEREMA, 2019) 23
Figure 14 : liste des polluants à considérer en fonction du niveau d'étude (source : CEREMA, 2019) 23
Figure 15 : diagramme méthodologique pour le calcul des émissions 24
Figure 16 : quantité de trafic 26
Figure 17 : évolution des émissions en NOx, PM2,5 et PM10 pour les trois situations étudiées 28
Figure 18 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation initiale, 2019 29
Figure 19 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation « fil de l'eau », 2025 30
Figure 20 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation avec projet, 2025 30
Figure 21 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation « fil de l'eau », 2035 31
Figure 22 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation avec projet, 2035 31
Figure 23 : différence d'émissions en NOx entre la situation avec projet et la situation « fil de l'eau », horizon 2025 32
Figure 24 : différence d'émissions en NOx entre la situation avec projet et la situation « fil de l'eau », horizon 2035 32

Figure 25 : diagramme méthodologique pour le calcul de dispersion 33
Figure 26 : rose des vents générale – 2017 à 2019 (3 ans) 35
Figure 27 : topographie du domaine d'étude (source : IGN BD ALTI®) 36
Figure 28 : localisation des points cibles 38
Figure 29 : Plan d'échantillonnage de la première campagne (du 13 au 27/10/20) 41
Figure 30 : Plan d'échantillonnage de la seconde campagne (du 10 au 24/11/20) 41
Figure 31 : concentration en NO_2 au niveau des points cibles 42
Figure 32 : concentration en PM10 au niveau des points cibles 42
Figure 33 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – situation initiale, 2019 50
Figure 34 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – « fil de l'eau », 2025 51
Figure 35 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – scénario avec projet, 2025 51
Figure 36 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – « fil de l'eau », 2035 52
Figure 37 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – scénario avec projet, 2035 52
Figure 38 : population par maille de 200m – situation initiale 2019 (source : INSEE, 2015) 53
Figure 39 : population par maille de 200m – horizons 2025 et 2035 54
Figure 40 : IPP global pour le NO_2 dans la bande d'étude 55
Figure 41 : histogramme de distribution concentration/population dans la bande d'étude 56
Figure 42 : carte IPP dans la bande d'étude – état initial (2019) 57
Figure 43 : carte IPP dans la bande d'étude – état fil de l'eau (2025) 58
Figure 44 : carte IPP – état avec projet (2025) 58
Figure 45 : carte IPP dans la bande d'étude – état fil de l'eau (2035) 59
Figure 46 : carte IPP – état avec projet (2035) 59
Figure 47 : logigramme pour le choix des VTR (DGS) 66
Figure 48 : localisation des points retenus pour les scénarios d'exposition 71
Figure 49 – concentration NO_2 ($\mu g/m^3$) 75
Figure 50 – concentration PM10 ($\mu g/m^3$) 75
Figure 51 – concentration PM2,5 ($\mu g/m^3$) 75
Figure 52 – Quotient de Danger Enfant 87
Figure 53 – Quotient de Danger Adulte 87
Figure 54 – Excès de Risque Individuel 88
Figure 55 : coûts collectifs induits par le trafic automobile par an 93
Figure 56 : coûts liés à l'effet de serre par an 95
Figure 57 : variation des émissions en NOx en fonction de la vitesse de circulation pour un véhicule léger (source : Cerema, 2016) 97
Figure 58 : systèmes de biofiltration d'air 99
Figure 59 : phénomène « l'effet de serre » (source : AIRPARIF) 107
Figure 60 : phénomène d'acidification (source : CITEPA) 108
Figure 61 : contamination des végétaux (EPA, 1998) 119

1. CADRE DE L'ETUDE

Dans le cadre de l'étude d'impact du projet de ZAC du « Parc d'activités de la Rucherie » à Bussy-Saint-Georges (77), RIVIERE-LETELLIER a confié à ARIA Technologies la réalisation de l'étude Air et Santé au sens de la note méthodologique « Air et Santé[1] ».

L'étude Air et Santé prend également en compte le projet de diffuseur dit du Sycomore (réalisé par la SANEF).

L'étude Air et Santé suit les recommandations des documents suivants :

- Note technique du 22 février 2019 du Ministère de la transition écologique et solidaire (NOR TRET1833075N) 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. Cette note technique abroge la circulaire interministérielle DGS/SD 7 B n°2005-273 du 25 février 2005 ;
- Guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du Cerema du 22 février 2019, document annexe à 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.

Cette étude se déroule en deux temps :

1. L'état initial incluant des campagnes de mesures in-situ (rapport ARIA/20.046_V2) ;
2. L'étude « Air et Santé » proprement dite, présentant l'impact du projet sur la qualité de l'air la santé des populations.

Le présent rapport concerne l'étude « Air et Santé » relative au projet.

Le présent rapport a été établi sur la base des informations transmises à ARIA Technologies par le Client, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives de la règlementation en vigueur, au moment de la réalisation du dossier (version 1).

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

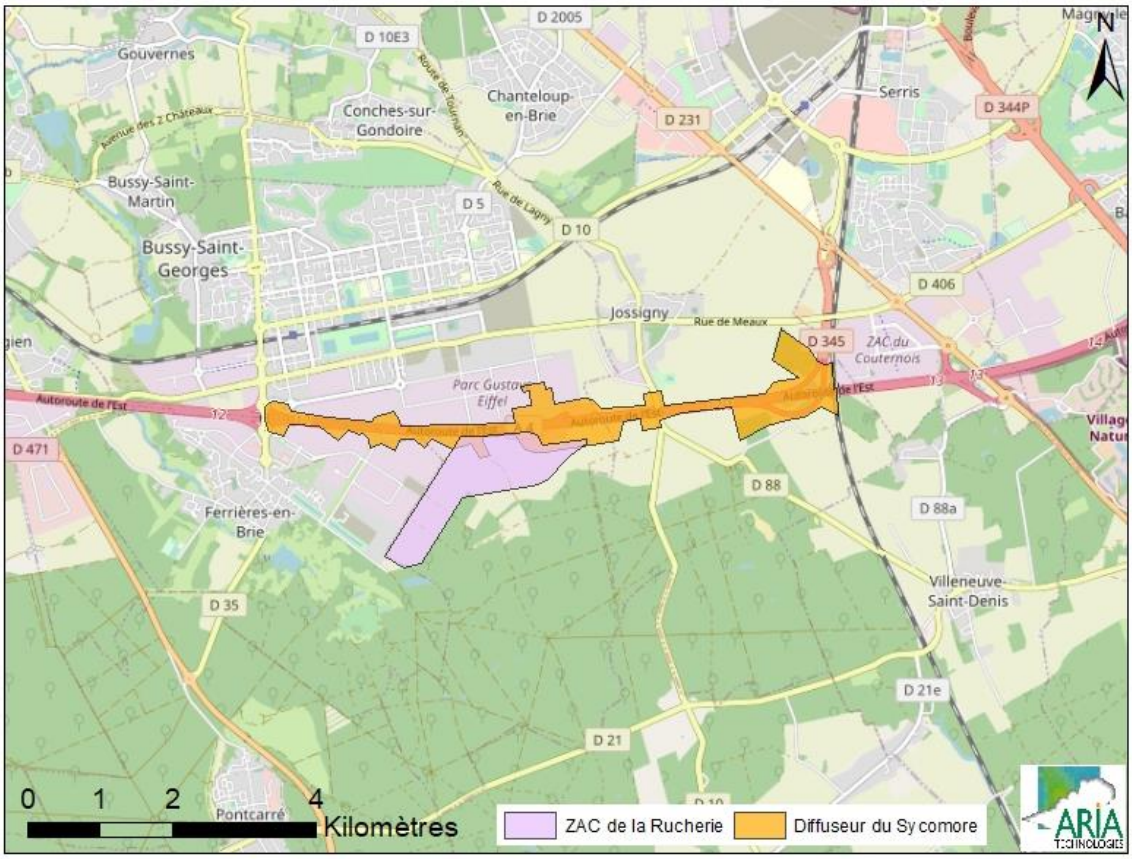
[1] Note technique du 22 février 2019 du Ministère de la transition écologique et solidaire (NOR TRET1833075N) relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières. Cette note technique abroge la circulaire interministérielle DGS/SD 7 B n°2005-273 du 25 février 2005

2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 LOCALISATION DU PROJET

Le projet de ZAC de la Rucherie se situe sur la commune de Bussy-Saint-Georges (77), au sud de l'autoroute A4 (cf. Figure 1). Le projet de diffuseur du Sycomore se trouve à proximité, dont le périmètre s'étend le long de l'autoroute A4.

Figure 1 : localisation des projets



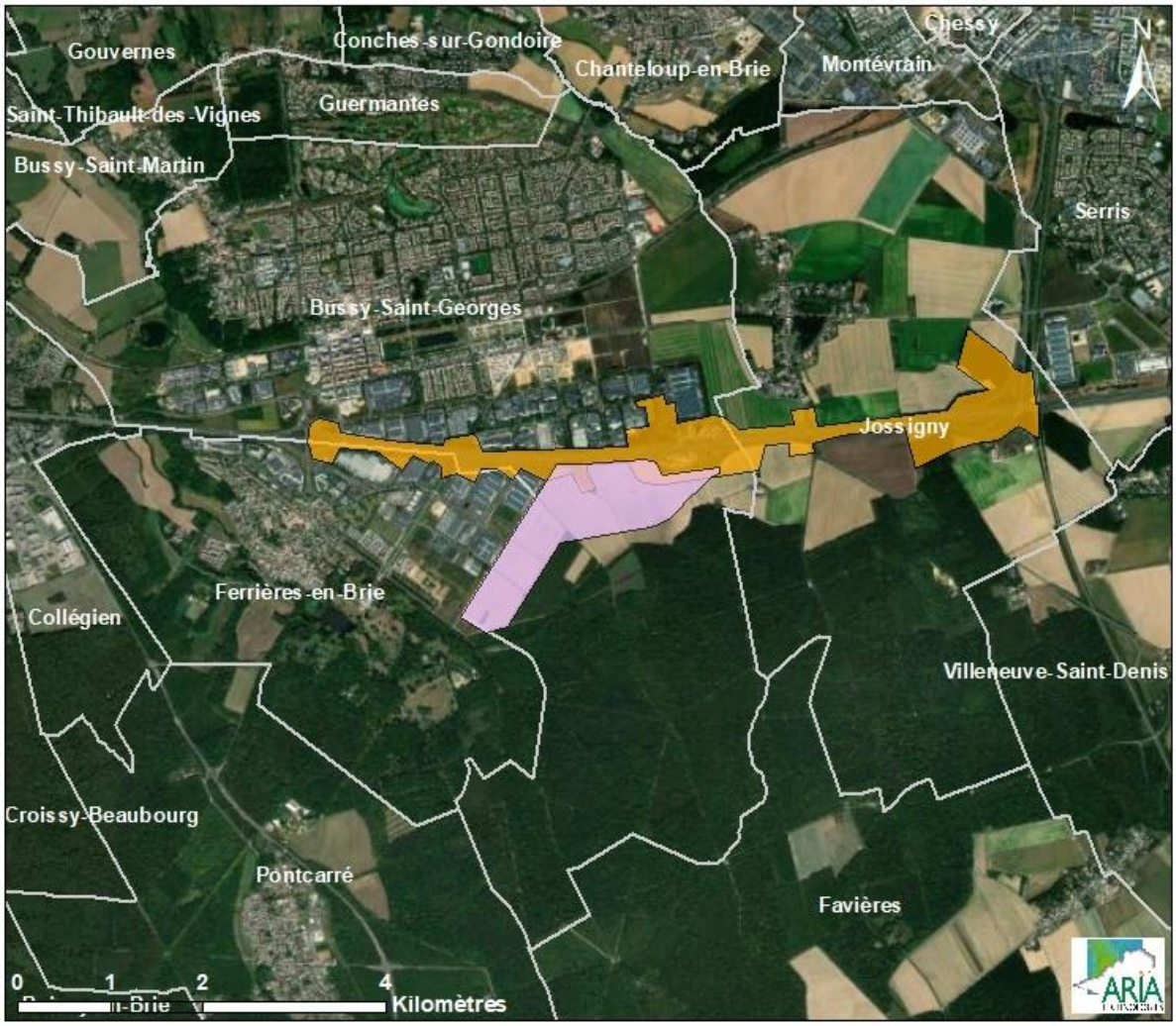
2.2 POPULATION

2.2.1 Population générale

1.1.1.1 Recensement de la population

Le projet de ZAC de la Rucherie se situe sur la commune de Bussy-Saint-Georges. Le projet de diffuseur du Sycomore s'étend sur les communes de Bussy-Saint-Georges, Ferrières-en-Brie et Jossigny. Le recensement de la population est fait sur 15 communes autour du projet (cf. Figure 2).

Figure 2 : Contour des communes à proximité du projet



Le Tableau 1 présente l'évolution de la population par commune et le Tableau 2 présente les données de population par catégorie d'âge en 2017 par commune.

Tableau 1 : Evolution de la population par commune (INSEE 2019)

Libellé géographique	Population en 1990	Population en 1999	Population en 2010	Population en 2017
BUSSY-SAINT-GEORGES	1 545	9 194	23 341	27 379
FERRIERES-EN-BRIE	-	-	2 198	3 433
COLLEGIEN	2 331	2 983	3 145	3 400
PONTCARRE	1 748	1 816	2 001	2 251
FAVIERES	847	941	1 106	1 109
VILLENEUVE-SAINT-DENIS	559	670	714	924
JOSSIGNY	529	530	629	687
CHANTELOUP-EN-BRIE	1 222	1 780	2 121	3 953
GUERMANTES	1 128	1 392	1 243	1 147
CONCHES-SUR-GONDOIRE	-	1 716	1 740	1 746
MONTEVRAIN	1 794	3 149	8 675	11 563
SERRIS	898	2 320	7 595	9 040
BUSSY-SAINT-MARTIN	475	573	724	676
GOUVERNES	934	1 024	1 113	1 176
CHESSY	1 124	1 667	4 298	5 633

Tableau 2 : Population par commune (INSEE 2020 sur la base des données 2017)

Communes	Population	Pop 0-14 ans	Pop 15-29	Pop 30-44 ans	Pop 45-59 ans	Pop 60-74 ans	Pop 75-89 ans	Pop 90 ans ou plus
BUSSY-SAINT-GEORGES	27 379	6 263	6 166	6 590	5 495	2 189	602	74
FERRIERES-EN-BRIE	3 433	720	717	901	634	364	92	5
COLLEGIEN	3 400	759	603	766	720	471	76	4
PONTCARRE	2 251	512	351	516	463	293	111	5
FAVIERES	1 109	193	195	209	263	178	67	4
VILLENEUVE-SAINT-DENIS	924	187	122	197	160	148	73	37
JOSSIGNY	687	151	99	152	141	105	34	5
CHANTELOUP-EN-BRIE	3 953	1 105	668	1 022	603	325	177	53
GUERMANTES	1 147	216	163	218	269	246	33	1
CONCHES-SUR-GONDOIRE	1 746	302	234	305	342	323	193	46
MONTEVRAIN	11 563	2 555	2 827	3 362	1 813	786	199	21
SERRIS	9 040	1 943	2 217	2 283	1 618	662	249	68
BUSSY-SAINT-MARTIN	676	106	106	127	166	133	35	3
GOUVERNES	1 176	219	189	229	260	220	56	2
CHESSY	5 633	1 379	1 139	1 528	1 007	452	117	11

1.1.1.2 Localisation des zones habitées et densité de population

Les données de population proviennent des données INSEE géolocalisées (année 2015, la plus récente disponible au moment de la rédaction du document).

La Figure 3 présente la densité de population à proximité des projets et les zones habitées.

Figure 3 : Densité de population en 2015 dans la zone d'intérêt (données INSEE)

Légende

- ZAC de la Rucherie
- Diffuseur du Sycomore
- Bâtiments habités

Densité de population (hab/km²)

- < 500
- 500 - 1 000
- 1 000 - 5 000
- 5 000 - 10 000
- > 10 000

2.2.2 Populations sensibles

Certaines populations, plus particulièrement sensibles à la qualité de l'air, peuvent être recensées par l'intermédiaire des structures qu'elles fréquentent :

- enfants : crèches et écoles ;
- personnes âgées : maisons de retraite ;
- personnes malades : hôpitaux et cliniques ;
- sportifs : stades, centres sportifs, terrains de sport extérieurs.

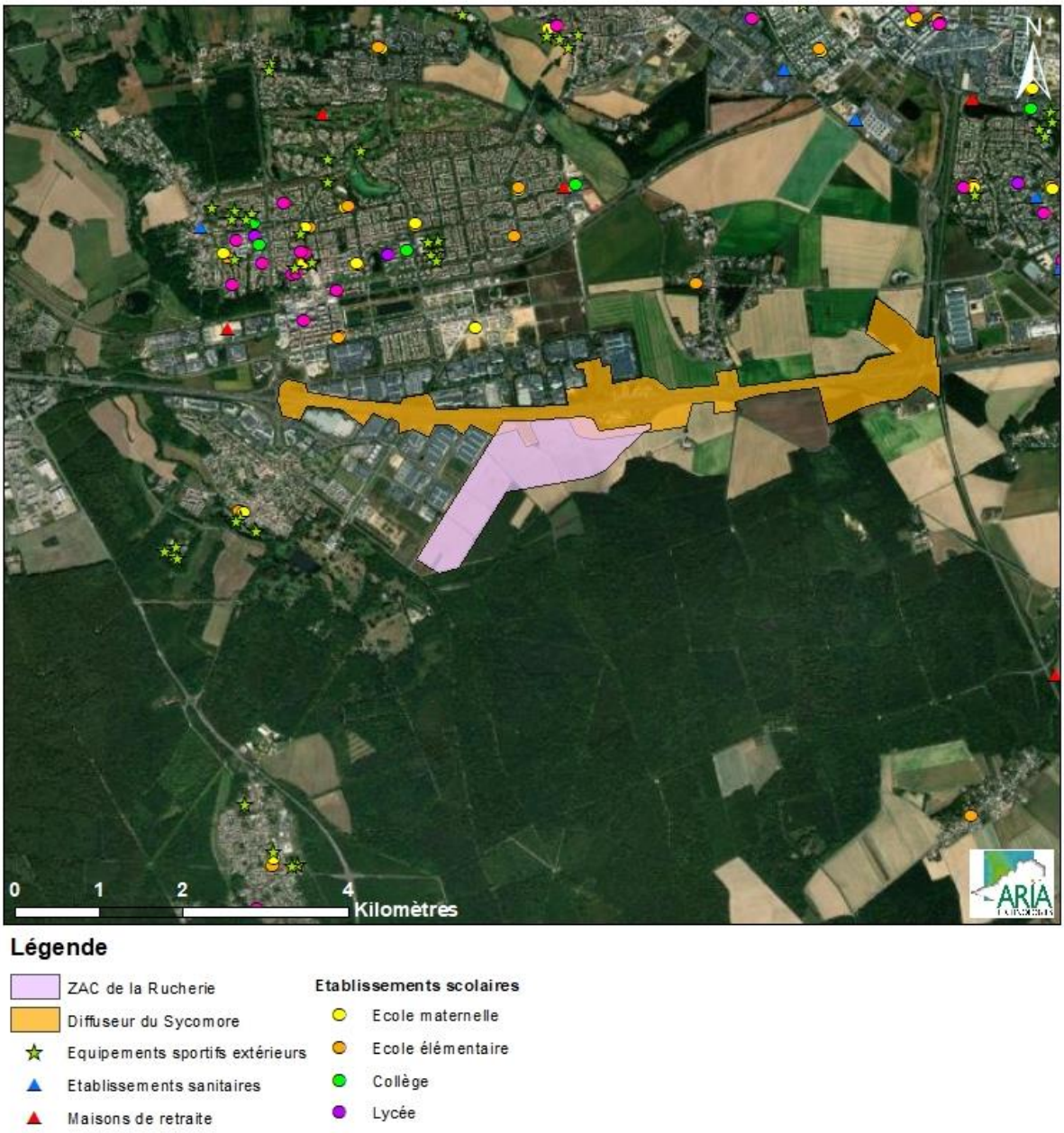
Les sites sensibles présents à proximité des projets susceptibles d'être impactés par les modifications de trafic sont recensés, on dénombre :

- 15 structures multi-accueil (crèche, halte-garderie) (Source : **https://lescreches.fr**) ;
- 39 écoles maternelles et primaires (source : annuaire de l'éducation nationale **http://www.education.gouv.fr/)** ;
- 9 collèges et lycées (source : annuaire de l'éducation nationale **http://www.education.gouv.fr/)** ;
- 3 établissement sanitaire et social et 4 maisons de retraite (Source : FINESS[2]) ;
- 41 équipements sportifs (source : **http://www.res.sports.gouv.fr/**).

La Figure 4 localise ces établissements sensibles.

[2] Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux

Figure 4 : Localisation des établissements sensibles



2.3 TRAFIC PREVISIONNEL

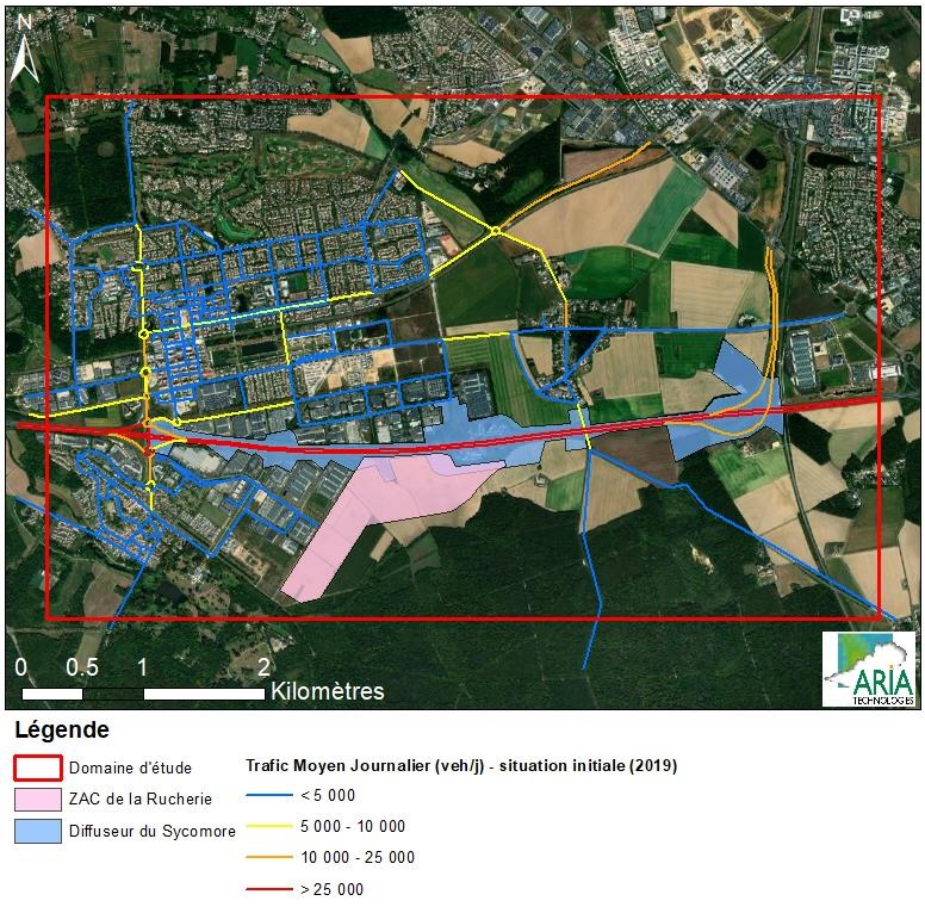
Les données concernant le trafic prévisionnel lié au projet proviennent de l'étude de circulation réalisée par la société CDVia[3]. Les Figure 5 à Figure 9 présentent les données de trafic en TMJ (Trafic Moyen Journalier) pour les 5 scénarios étudiés :

- situation initiale (2019) ;
- situation « fil de l'eau » à l'horizon 2025 ;
- situation avec projets 2025 (incluant projet de ZAC de la Rucherie et diffuseur du Sycomore) ;
- situation « fil de l'eau » à l'horizon 2035 ;
- situation avec projets 2035 (incluant projet de ZAC de la Rucherie et diffuseur du Sycomore).

Les Figure 10 et Figure 11 présentent l'évolution du trafic entre le scénario fil de l'eau et le scénario avec projet pour les situations 2025 et 2035. On observe une baisse de trafic au niveau de l'échangeur avec la D345, et une augmentation au niveau des voies reliant le nouveau diffuseur (boulevard des 100 arpents notamment).

Les pourcentages de PL n'étant connus que pour la situation actuelle, ce même pourcentage a été appliqué pour les situations futures. De plus, ces pourcentages ne sont pas connus pour certaines voies. Sur ces voies, il a été considéré des pourcentages identiques à ceux des voies similaires.

Figure 5 : trafic en TMJ, scénario initial 2019 (source : CDVia)



[3] Etude CDVia – Etude d'impact de la ZAC de la Rucherie et du diffuseur du Sycomore sur A4 Bussy-St-Georges – Nouveaux résultats des simulations prospectives – Aff. 7584 - Jeudi 7 Janvier 2021

Figure 6 : trafic en TMJ, scénario fil de l'eau 2025 (source : CDVia)

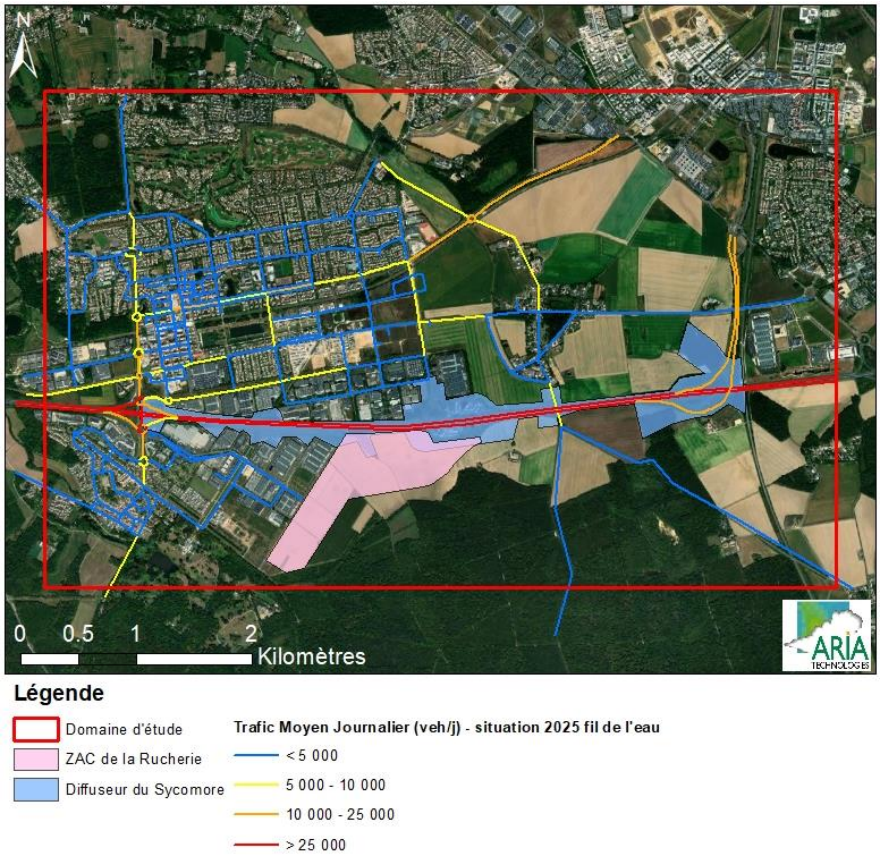


Figure 7 : trafic en TMJ, scénario avec projet 2025 (source : CDVia)

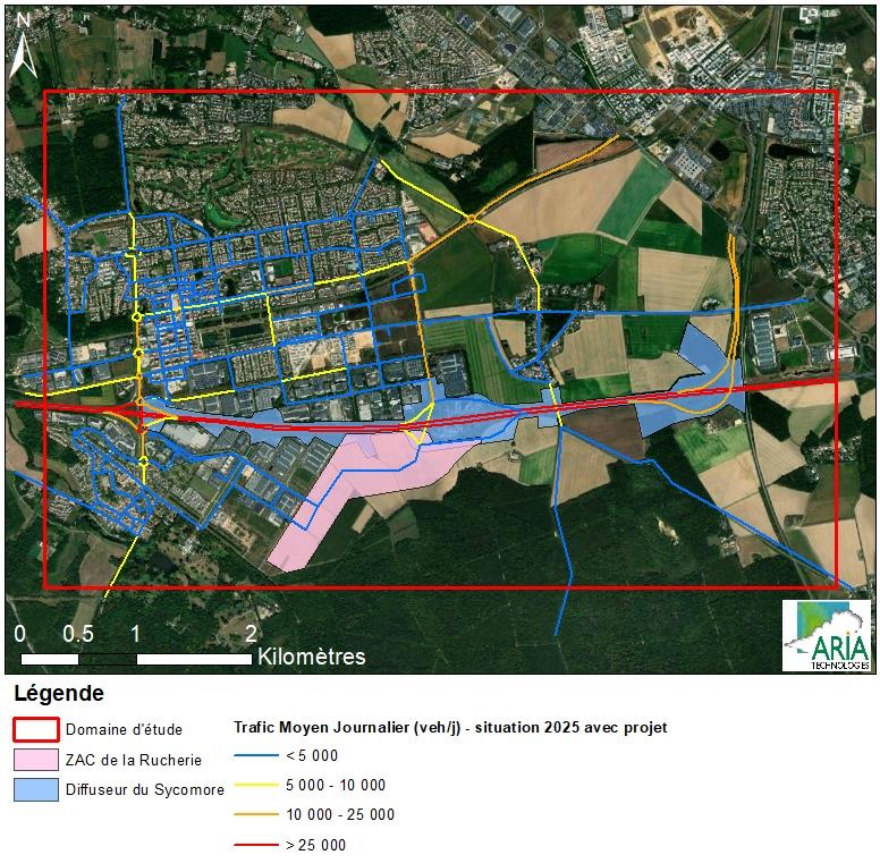


Figure 8 : trafic en TMJ, scénario fil de l'eau 2035 (source : CDVia)

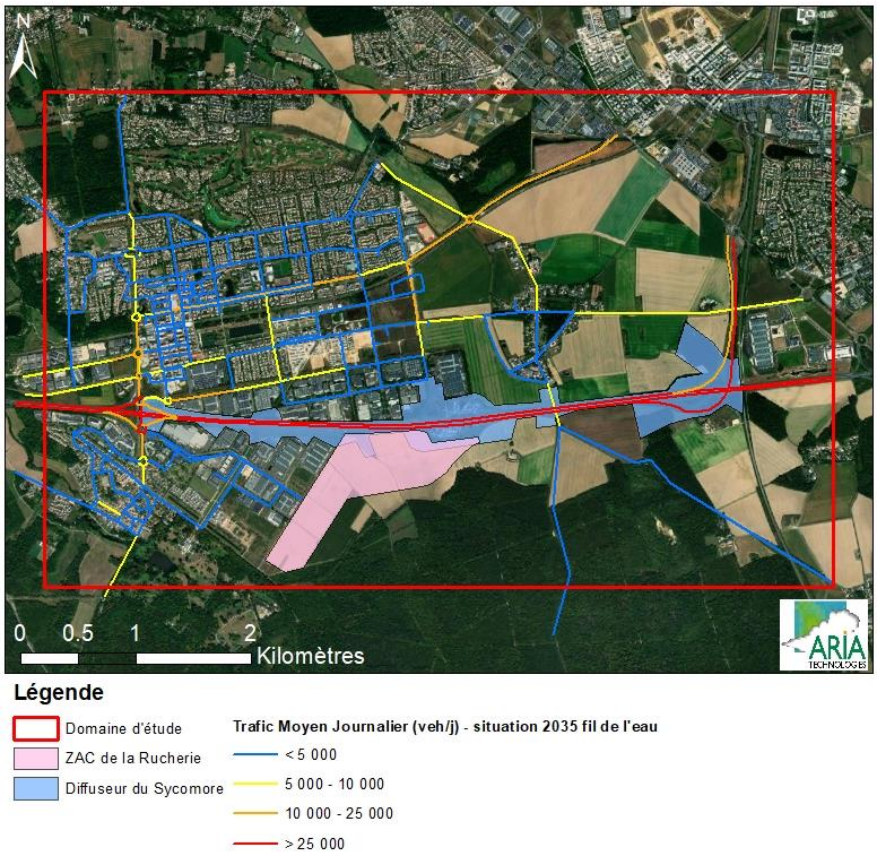


Figure 9 : trafic en TMJ, scénario avec projet 2035 (source : CDVia)

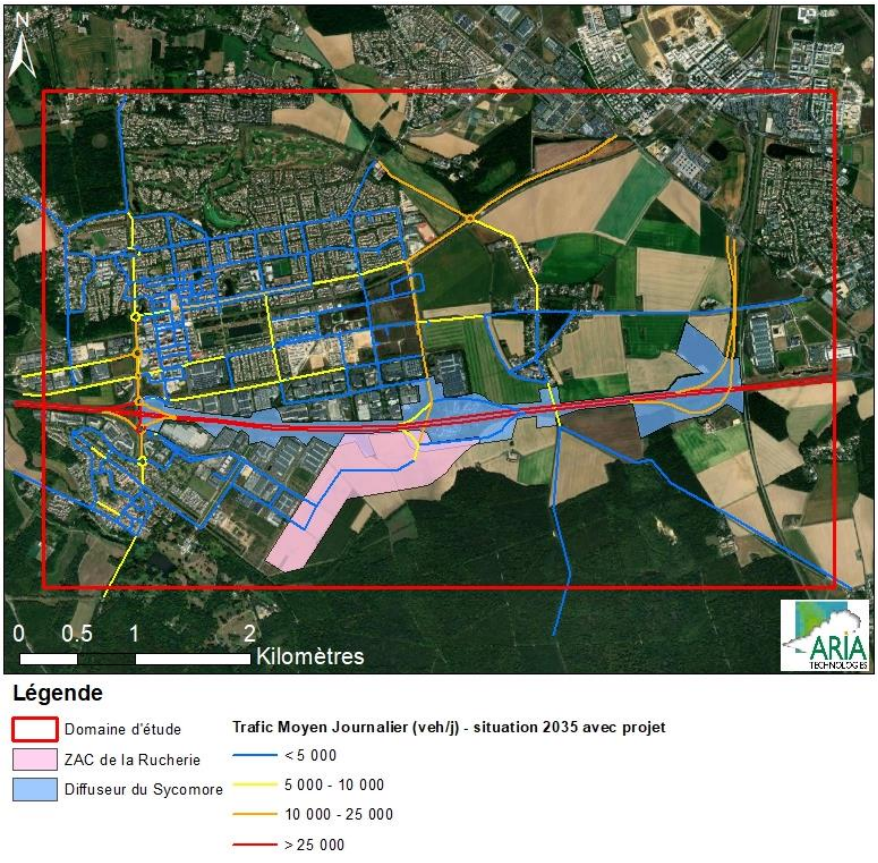


Figure 10 : évolution du trafic entre les scénarios fil de l'eau et projet 2025

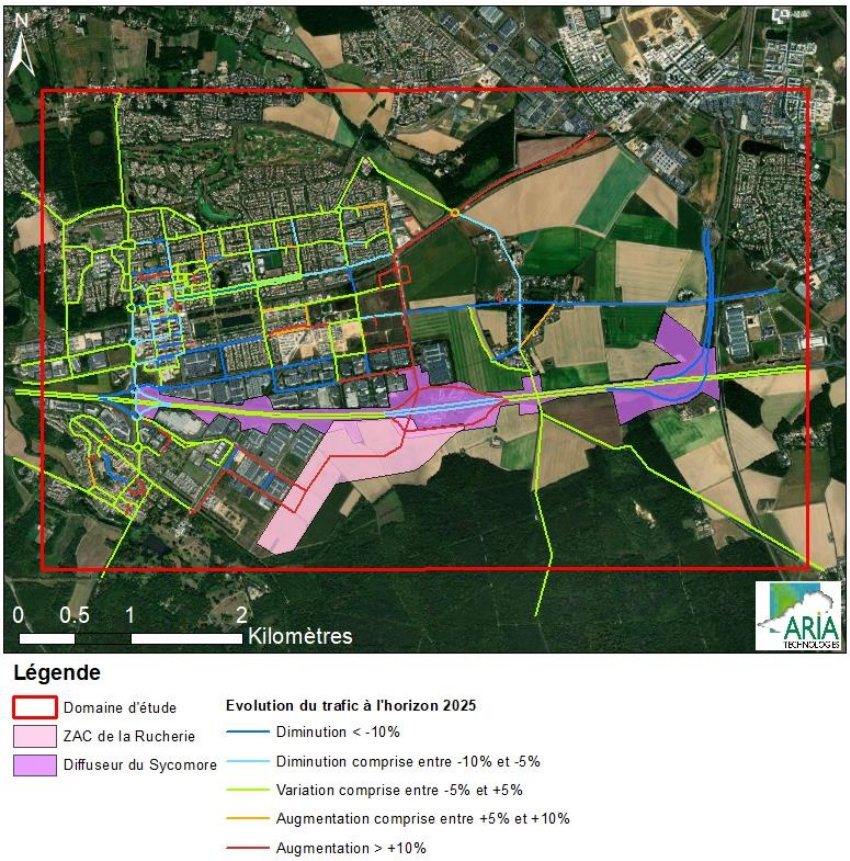
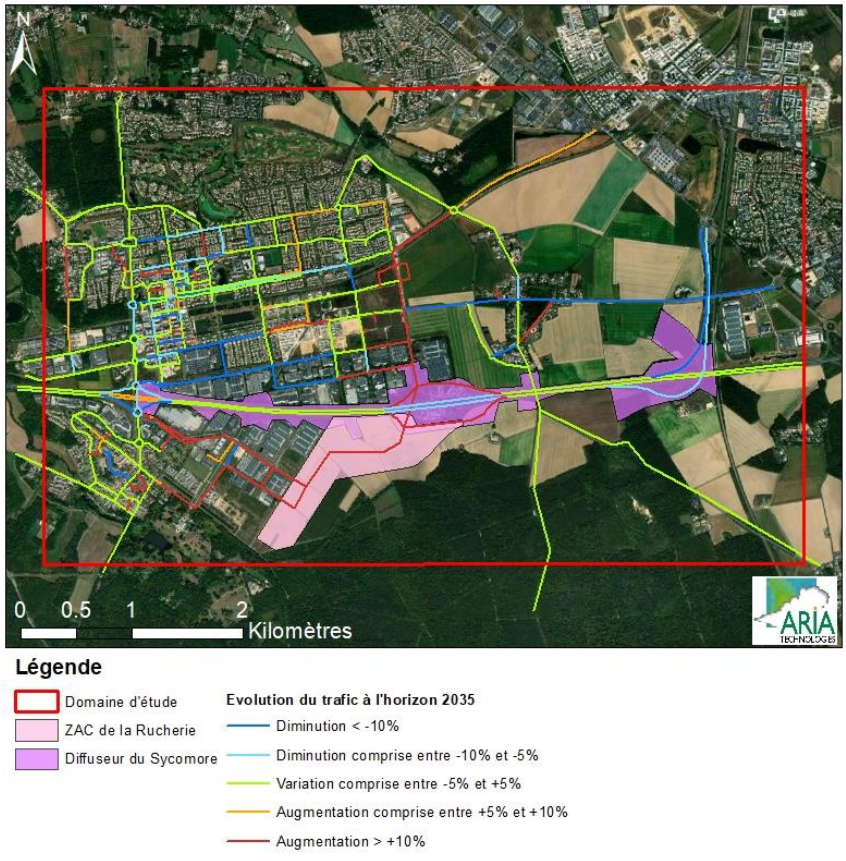


Figure 11 : évolution du trafic entre les scénarios fil de l'eau et projet 2035



2.4 DEFINITION DU DOMAINE D'ETUDE ET DES BANDES D'ETUDES

Conformément à l'annexe de la note technique du 22 février 2019 du Ministère de la transition écologique et solidaire, le domaine d'étude est composé du projet et de l'ensemble des voies dont le trafic est affecté significativement par le projet. On distingue deux cas de figure :

- Pour les trafics supérieurs à 5 000 véh/j : la modification du trafic engendrée par la mise en service du projet est considérée comme significative lorsque la variation relative de trafic entre le scénario au fil de l'eau et le scénario avec projet au même horizon est supérieure à 10 %, en positif ou en négatif.
- Pour les trafics inférieurs à 5 000 véh/j : la modification de trafic engendrée par la mise en service du projet est considérée comme significative lorsque la variation absolue de trafic entre le scénario au fil de l'eau et le scénario avec projet au même horizon est supérieure à 500 véh/j, en positif ou en négatif.

La bande d'étude est définie autour de chaque voie affectée significativement par le projet. Cette bande d'étude varie selon le type de pollution étudié :

- **pour la pollution particulaire** (métaux lourds, …), la largeur de la bande d'étude est prise égale à 100 m, quel que soit le trafic de part et d'autre de l'axe médian du tracé le plus significatif du projet, en attendant les résultats de recherches complémentaires.
- **pour la pollution gazeuse**, la largeur minimale de la bande d'étude centrée sur l'axe médian du tracé le plus significatif du projet est défini dans le Tableau 3.

Tableau 3 : critères permettant de définir la largeur minimale de la bande d'étude

TMJA à l'horizon d'étude le plus lointain (en veh/j)	Largeur minimale de la bande d'étude, centrée sur l'axe de la voie (en mètres)
T > 50 000	600
25 000 < T < 50 000	400
10 000 < T < 25 000	300
T < 10 000	200

Les critères pour la pollution gazeuse étant plus pénalisants, nous retiendrons cette approche pour déterminer la largeur des bandes d'étude.

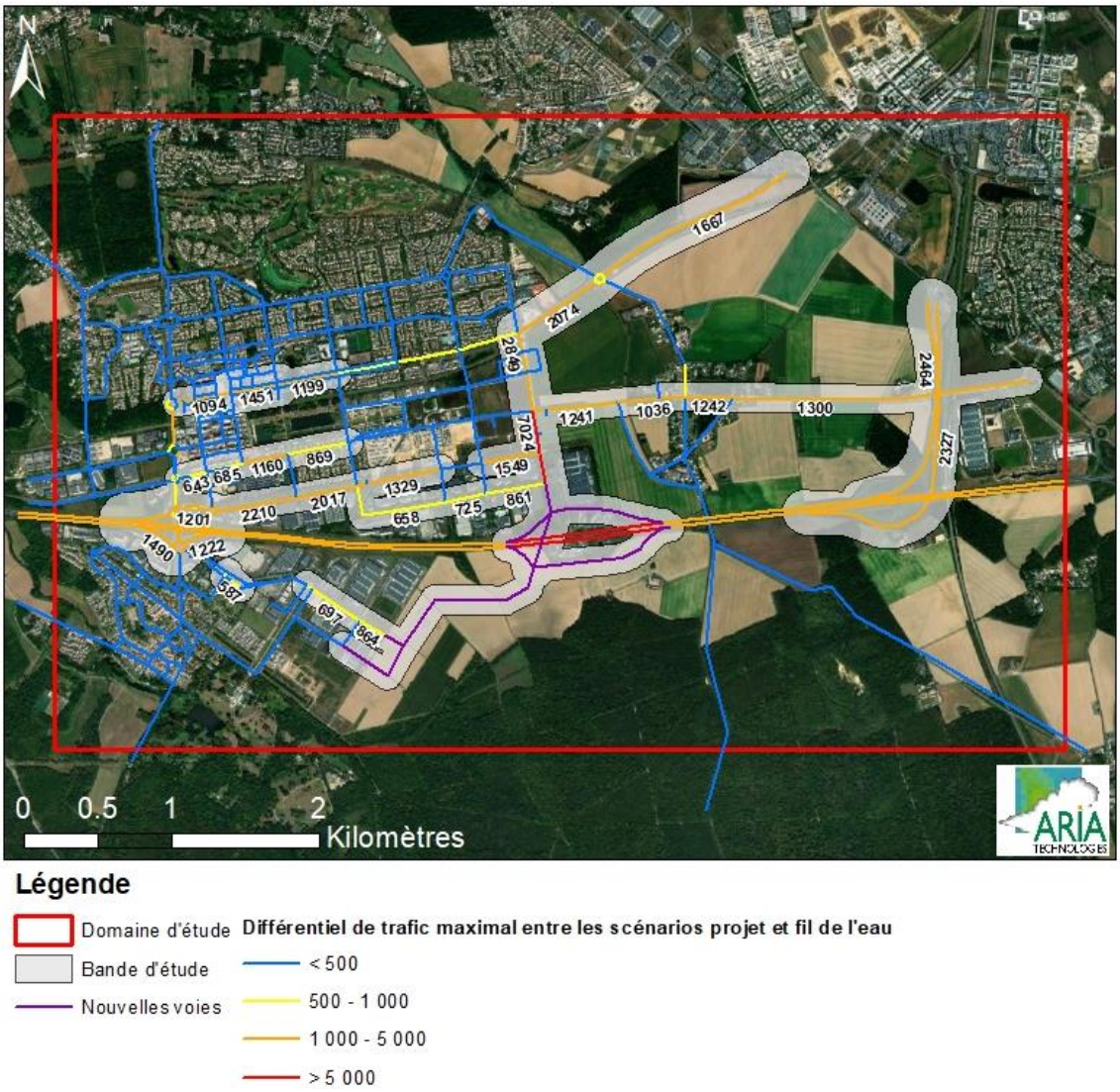
La Figure 12 présente la bande d'étude, le domaine d'étude ainsi que les voies routières qui seront conservées dans cette étude.

D'après les données de trafic disponibles dans l'étude de circulation (cf. paragraphe 2.2), très peu de voies à fort trafic (> 5 000 véh/jour) subissent une variation des flux de trafic journalier de plus de 10 %. La bande d'étude est majoritairement définie autour des axes dont le trafic est inférieur à 5 000 véh/j et subissant une variation de trafic de plus de 500 véh/j du fait de la réalisation des projets.

Le domaine d'étude retenu (rectangle rouge sur la Figure 12) correspond à un rectangle de 6 800 mètres sur 4 300 mètres de côté. Il comprend :

- les voies, dont le trafic est supérieur à 5 000 véh/j, subissant une variation de trafic de plus de 10 % ou de plus de 500 véh/j pour les trafics inférieurs à 5 000 véh/j ;
- l'autoroute A4 correspondant à un axe à fort trafic ;
- les autres voies permettant de garder une continuité des tronçons retenus.

Figure 12 : bande d'étude et domaine d'étude



2.5 NIVEAU D'ETUDE RETENU

2.5.1 Niveau d'étude à retenir

Le guide méthodologique du CEREMA[4] du 22 février 2019 relatif au volet « Air et Santé » des études d'impact routières, définit les niveaux d'étude à appliquer pour les études « Air et Santé ». Ce niveau d'étude est défini, à l'horizon d'étude le plus lointain c'est-à-dire celui pour lequel les trafics seront les plus élevés, à l'aide de trois critères :

- la charge prévisionnelle de trafic en véh/jour ;
- la densité de population correspondant à la zone la plus densément peuplée traversée par le projet ;
- la longueur du projet.

Tableau 4 : définition des niveaux d'étude "Loi sur l'air"

Densité de population dans la bande d'étude	**Trafic à l'horizon d'étude** (selon tronçons homogènes de plus de 1 km)			
	> 50 000 véh/j ou 5000 uvp/h	25 000 à 50 000 véh/j ou 2 500 à 5 000 uvp/h	10 000 à 25 000 véh/j ou 1 000 à 2 500 uvp/h	≤ 10 000 véh/j ou ≤ 1 000 uvp/h
Bâti avec densité ≥ 10 000 hbts/km²	**I**	**I**	**II**	**II** si L > 5km **III** si L ≤ 5km
Bâti avec densité > 2 000 et < 10 000 hbts/km²	**I**	**II**	**II**	**II** si L > 25km **III** si L ≤ 25km
Bâti avec densité ≤ 2 000 hbts/km²	**I**	**II**	**II**	**II** si L > 50km **III** si L ≤ 50km
Pas de bâti	**III**	**III**	**IV**	**IV**

L'analyse des données de trafic en TMJ (cf. paragraphe 2.3) montre que, à l'horizon futur 2035, le trafic est supérieur à 25 000 véh/j sur des voies existantes de la bande d'étude (sur l'autoroute et à l'entrée de Bussy), avec une densité de population pouvant dépasser localement 10 000 habitants/km². **En référence au Tableau 4**, **l'étude s'inscrit donc réglementairement dans une étude de niveau I.**

[4] CEREMA, 22 février 2019

2.5.2 Contenu de l'étude

Pour information, le contenu des études « Air et Santé » a été défini dans le « Guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières » du CEREMA[5]. Ce guide méthodologique a été visé par la note technique NOR TRET1833075N du 22 février 2019.
La Figure 13 (page suivante) présente le tableau 8 du guide méthodologique du CEREMA synthétisant pour chaque niveau d'étude (cf. Tableau 4) le contenu attendu de l'étude pour la solution retenue.
La Figure 14 (page suivante) présente la liste des polluants à prendre en compte en fonction du niveau d'étude (tableau 6 du guide méthodologique du CEREMA).

Conformément à la note technique interministérielle TRET1833075N du 22 février 2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact, l'étude « Air et Santé » comprendra :

- le bilan initial de la qualité de l'air (cf. Rapport Etat Initial ARIA 2020.046_V2.pdf) ;
- l'estimation des émissions de polluants au niveau du domaine d'étude ;
- l'estimation des concentrations dans la bande d'étude autour du projet ;
- la comparaison des situations sur le plan de la santé via un indicateur sanitaire simplifié (IPP Indice Pollution - Population) ;
- l'évaluation des risques sanitaires au niveau des populations situées dans la bande d'étude par inhalation et éventuellement par ingestion ;
- l'analyse des coûts collectifs de l'impact sanitaire des pollutions et des nuisances et de l'effet de serre.

[5] CEREMA : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

Figure 13 : synthèse du contenu attendu de l'étude de la solution retenue (source : CEREMA, 2019)

	Niveau I	Niveau II	Niveau III	Niveau IV
Analyse bibliographique	A adapter en fonction du niveau d'étude et des enjeux			
Mesures effectuées à l'état actuel	Qualification par des mesures in situ (air et sol si risque par ingestion)	Qualification par des mesures in situ (air)	Réalisation éventuelle de mesures	-
Estimation des émissions	Sur tout le réseau d'étude pour les polluants du tableau 6 (polluants en commun avec les études de niveau II à IV et ceux spécifiques à l'ERS)	Sur tout le réseau d'étude pour les polluants du tableau 6		
Estimation des concentrations	Sur toutes les bandes d'études du réseau d'étude pour les polluants de l'ERS	NO_2 (et les éventuellement les PM_{10} si nécessité confirmée par ARS), sur toutes les bandes d'étude du réseau d'étude	-	-
Évolution de l'exposition de la population à la pollution	Comparaison de la solution retenue avec le scénario sans projet sur le plan de la santé via l'IPP NO_2		-	-
Effets de la pollution de l'air sur la santé	ERS par inhalation sur toutes les bandes d'étude du réseau d'étude ERS par ingestion dans la bande d'étude du projet retenu	Synthèse bibliographique à adapter aux enjeux du projet		
Analyse des coûts collectifs et avantages induits	Traitée dans le volet socio-économique			
Analyse des impacts en phase chantier	A traiter pour tous les niveaux d'étude et à adapter en fonction des enjeux			
Mesures d'évitement, d réduction des impacts	A traiter pour tous les niveaux d'étude et à adapter en fonction des enjeux			
Pour rappel, sont exclues du périmètre de cette note, les émissions de GES[51], la consommation énergétique et l'impact de la pollution atmosphérique sur la faune, la flore, le sol et les bâtiments, thématiques qu'il faut néanmoins traiter dans le volet « Air » [4].				

Figure 14 : liste des polluants à considérer en fonction du niveau d'étude (source : CEREMA, 2019)

Polluants à prendre en compte dans les études air et santé (niveau I à IV)	Oxydes d'azote (NOx) Particules (PM_{10} $PM_{2,5}$) Monoxyde de carbone (CO) Composés organiques volatils non méthanique (COVNM) Benzène Dioxyde de soufre (SO_2) Arsenic Nickel Benzo[a]pyrène		
Les polluants spécifiques à l'ERS (uniquement niveau I)	Voie respiratoire	Effets aigus	PM_{10}, $PM_{2,5}$ Dioxyde d'azote
		Effets chroniques	PM_{10}, $PM_{2,5}$ Dioxyde d'azote Benzène 16HAP dont le benzo(a)pyrène 1,3 butadiène Chrome Nickel Arsenic
	Voie orale	Effets chroniques	16 HAP dont le benzo(a)pyrène

3. ESTIMATION DES EMISSIONS LIEES AU TRAFIC ROUTIER

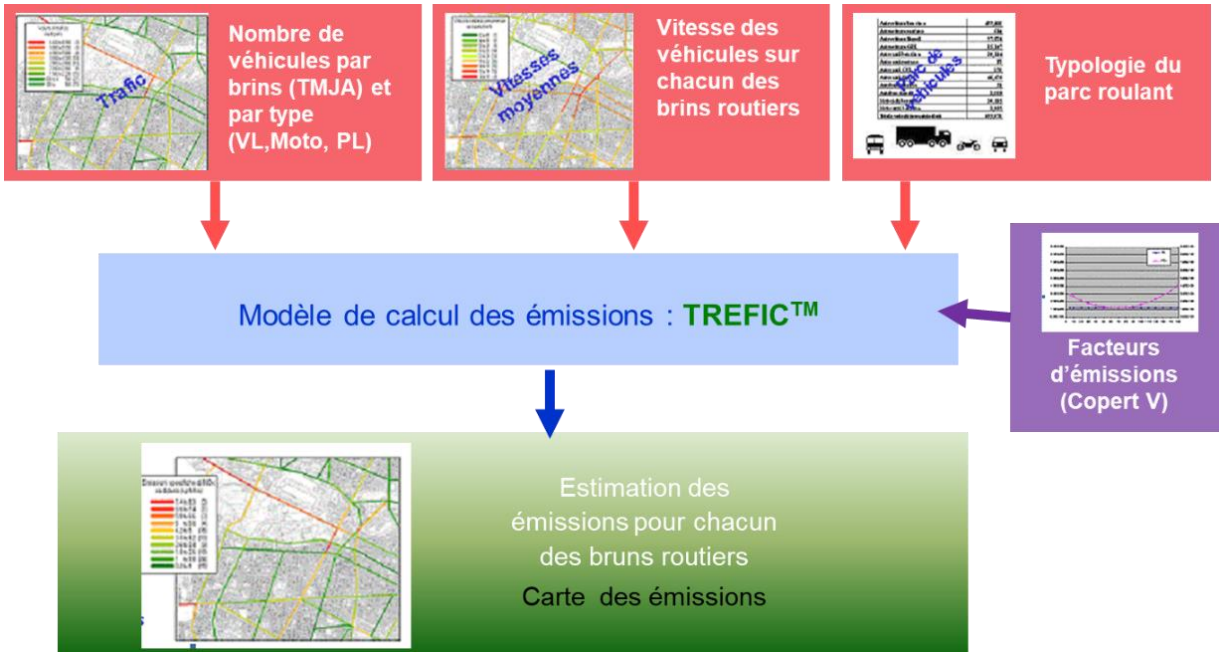
3.1 METHODOLOGIE

La méthodologie repose sur la mise en œuvre du logiciel TREFIC™ (similaire au logiciel ADEME Impact) appliqué aux données de trafic fournis par le client. Le logiciel TREFIC™ (TRaffic Emission Factors Improved Calculation) s'appuie sur la **méthodologie européenne la plus récente COPERT V**.

Comme le montre la Figure 15, elle s'appuie sur les données suivantes :

- le volume de trafic : il s'agit du Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) ;
- les vitesses moyennes des véhicules ;
- le parc automobile ;
- les facteurs d'émissions.

Figure 15 : diagramme méthodologique pour le calcul des émissions



3.2 DONNEES D'ENTREE

3.2.1 Répartition par catégories de véhicules

Pour les calculs d'émissions, il est nécessaire de connaître la répartition du parc roulant automobile sur chacun des brins du réseau routier alentour. Le modèle de trafic ne fournit pas la composition exacte du parc roulant. La répartition du parc automobile a été déterminée en fonction des deux principales catégories de véhicules :

- véhicules légers (VP / VUL) ;
- poids lourds (PL).

Au sein de chacune de ces catégories, plusieurs sous-classes de véhicules sont définies. Ces classes dépendent du type de carburant (essence/diesel) et de la date de mise en service du véhicule par rapport aux normes sur les émissions.

La répartition du parc roulant aux horizons étudiés est extraite des statistiques disponibles du parc français[6]. Nous ne disposons pas actuellement des informations relatives à la répartition du parc roulant français au-delà de 2050.

3.2.2 Facteurs d'émissions

On appelle "facteur d'émission" les quantités de polluants en g/km rejetées par un véhicule.
Les facteurs d'émission proviennent d'expérimentations sur banc d'essais ou en conditions réelles.
Ils dépendent :

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

Les facteurs d'émissions utilisés pour l'étude sont ceux recommandés par l'Union Européenne (UE) c'est-à-dire ceux du programme COPERT 5. Ce modèle résulte d'un consensus européen entre les principaux centres de recherche sur les transports. En France, son utilisation est par ailleurs préconisée par le CERTU[7] pour la réalisation des études d'impact du trafic routier.

Pour les scénarios étudiés, les facteurs d'émissions sont déterminés à partir d'une reconstitution prenant en compte l'évolution des normes pour chaque catégorie de véhicule et leur introduction dans le parc. Les données concernant les véhicules sont des paramètres d'entrée liés à la répartition du parc roulant prise en compte. La distribution du parc et des classes de vitesse a été réalisée de manière à être compatible avec les données du programme de calcul d'émissions COPERT 5.

Pour chacun des parcs, les facteurs d'émissions sont déduits par interpolation linéaire sur les vitesses à partir des émissions calculées pour certaines vitesses à partir des formules polynomiales du programme COPERT 5.

Les émissions de poussières (PM10, PM2.5) prennent en compte :

- Les émissions issues des gaz d'échappement
- Les émissions liées à l'abrasion mécanique des freins, pneus, route…

3.2.3 Données de trafic

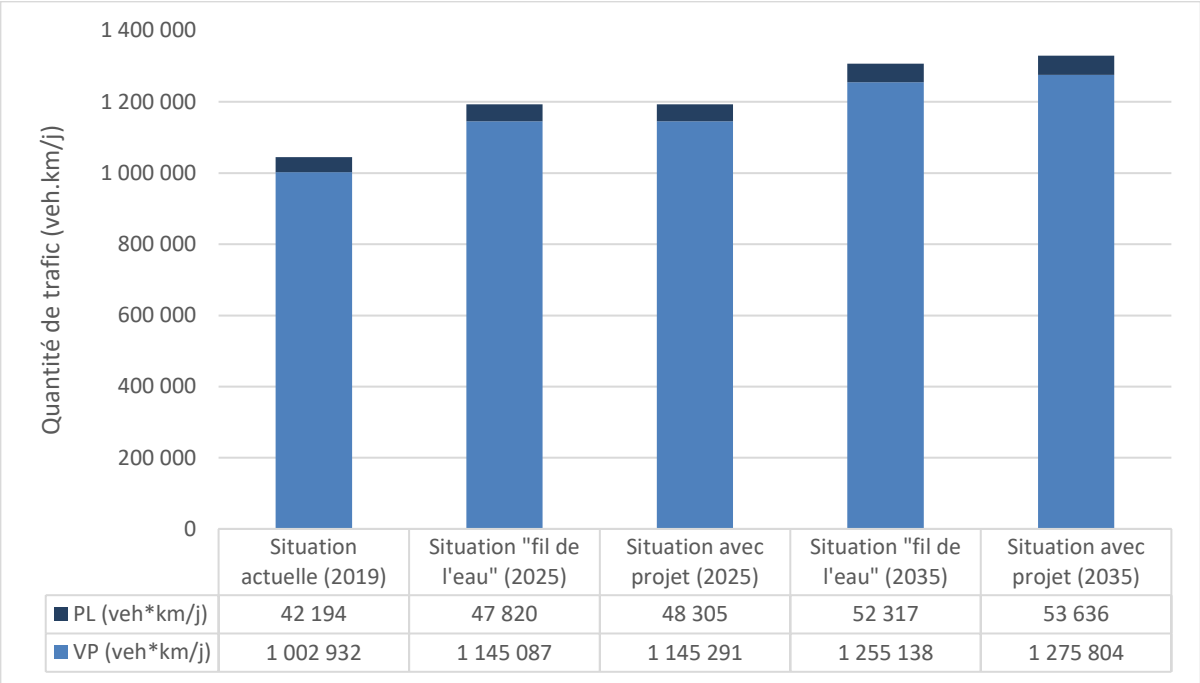
Les données de trafic ont été présentées dans le paragraphe 2.3. Les émissions sont calculées à partir des données de Trafic Moyen Journalier (TMJ).

Afin de comparer les volumes de trafic entre chaque scénario, sur l'ensemble du domaine d'étude, la quantité de trafic journalier est calculée. Elle correspond à la somme, sur le réseau routier considéré dans l'étude, du nombre de véhicules moyens multiplié par la distance parcourue pour chacun des tronçons. Ce bilan est présenté sur la Figure 16.

[6] « Connaissance et prospective des parcs automobiles », IFSTTAR, Convention DGITM 16/368 – Partie 1, Référence IFSTTAR : RP3-J1700601, rapport du 17/12/2019

[7] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Figure 16 : quantité de trafic



	Situation actuelle (2019)	Situation "fil de l'eau" (2025)	Situation avec projet (2025)	Situation "fil de l'eau" (2035)	Situation avec projet (2035)
PL (veh*km/j)	42 194	47 820	48 305	52 317	53 636
VP (veh*km/j)	1 002 932	1 145 087	1 145 291	1 255 138	1 275 804

Entre la situation initiale et les situations fil de l'eau 2025 et 2035, la quantité de trafic augmente respectivement de 14 % et 25 %.

La quantité de trafic évolue très peu sur l'ensemble du domaine d'étude avec la mise en place des projets. A l'horizon 2025, la quantité de trafic reste stable entre la situation fil de l'eau et la situation avec projet, elle augmente légèrement de 1.7 % en 2035.

3.3 RESULTATS DES EMISSIONS DE POLLUANTS ET DES GAZ A EFFET DE SERRE

3.3.1 Tableaux de résultats

Conformément au guide méthodologique du 22 février 2019[8], sur le volet « air et santé », des études d'impact routières, visé par la note technique (NOR TRET1833075N), les polluants étudiés sont ceux demandés pour une étude de niveau I à savoir :

- les oxydes d'azote (NOx) ;
- le monoxyde de carbone (CO) ;
- les composés organiques volatils non méthanique (COVNM) ;
- le benzène (C_6H_6) ;
- le 1,3 butadiène ;
- les particules $PM_{2,5}$ et PM_{10} ;
- le dioxyde de soufre (SO_2) ;
- des métaux lourds : l'arsenic (As), le chrome (Cr) et le nickel (Ni) ;
- 16 HAP dont le benzo(a)pyrène.

Afin de déterminer ultérieurement les coûts liés à l'effet de serre, les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES), qui regroupent le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (NH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O), sont également évaluées.

Le Tableau 5 donne les résultats des émissions totales pour l'ensemble de la zone d'étude.

Tableau 5 : bilan des émissions en polluants atmosphériques sur le domaine d'étude

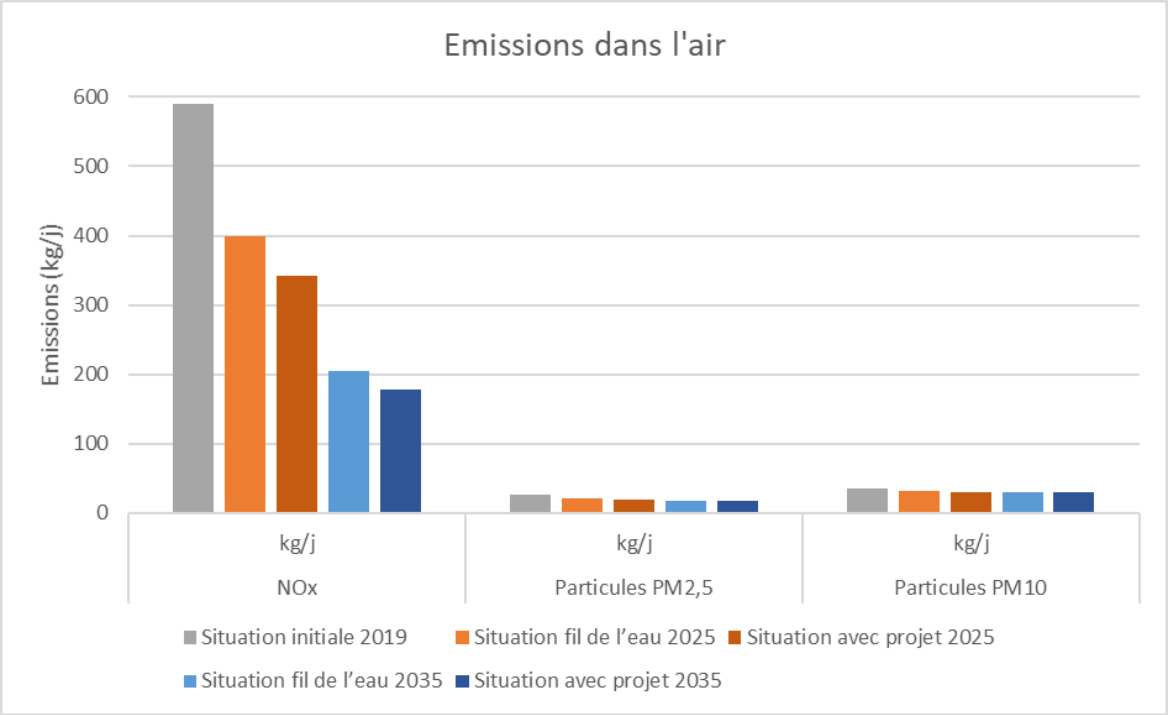
Substances	Unité	Situation initiale 2019	Situation fil de l'eau 2025	Situation avec projet 2025	*Evolution des émissions entre la situation projet et la situation fil de l'eau 2025*	Situation fil de l'eau 2035	Situation avec projet 2035	*Evolution des émissions entre la situation projet et la situation fil de l'eau 2035*
Emissions de Gaz à Effet de Serre (GES)								
CO_2	T/j	211	237	223	*-5.9%*	253	242	*-4.5%*
CH_4	kg/j	2.9	2.0	2.0	*0.0%*	2.3	2.3	*1.6%*
N_2O	kg/j	11.4	10.7	10.7	*0.0%*	9.5	9.6	*1.6%*
Emissions de polluants atmosphériques								
NOx	kg/j	591	399	342	*-14.2%*	205	178	*-12.9%*
Particules PM2,5	kg/j	25.8	20.9	20.2	*-3.4%*	17.9	17.9	*0.2%*
Particules PM10	kg/j	35.1	31.6	30.9	*-2.0%*	29.4	29.8	*1.1%*
CO	kg/j	4282	2652	1413	*-46.7%*	1917	1061	*-44.6%*
COVNM	kg/j	58.5	28.1	21.2	*-24.7%*	21.5	15.8	*-26.7%*
Benzène	kg/j	2.8	1.4	1.0	*-27.2%*	1.0	0.7	*-30.4%*
SO_2	kg/j	5.2	5.7	5.4	*-5.8%*	5.4	5.2	*-4.0%*
Nickel	g/j	0.2	0.2	0.2	*-5.8%*	0.2	0.1	*-3.8%*
Arsenic	g/j	0.02	0.02	0.02	*-5.8%*	0.02	0.02	*-4.0%*
Benzo(a)pyrène	g/j	1.1	1.0	1.0	*0.1%*	0.7	0.7	*1.7%*
Chrome	g/j	0.4	0.5	0.5	*-6.0%*	0.5	0.5	*-4.7%*
1,3 butadiène	kg/j	0.6	0.3	0.2	*-21.4%*	0.2	0.2	*-23.0%*
16 HAP	kg/j	0.1	0.1	0.1	*-0.1%*	0.1	0.1	*1.5%*

[8] https://opendata.paris.f

Le diagramme de la Figure 17 présente l'évolution des émissions en NOx et particules (PM10 et PM2,5) entre la situation initiale 2019 et les horizons 2025 et 2035 sans et avec projet.

Entre la situation initiale (2019) et les situations « fil de l'eau » (2025 et 2035), la baisse globale des émissions, malgré une forte augmentation de trafic (25 % entre 2019 et 2035), est influencée par l'évolution du parc routier entre 2019, 2025 et 2035 (mise en circulation de véhicules moins polluants, augmentation de la part des véhicules électriques, …).

Figure 17 : évolution des émissions en NOx, $PM_{2,5}$ et PM_{10} pour les trois situations étudiées



Aux deux horizons étudiés, les émissions diminuent de manière significative pour la majorité des polluants entre la situation « fil de l'eau » et la situation avec projet. En effet, la mise en place du diffuseur du Sycomore est associée à une baisse de la vitesse de circulation sur cette portion de l'A4 passant de 130 km/h à 110 km/h. A trafic stable aux horizons 2025 et 2035, cette baisse de la vitesse de circulation entraine une diminution importante des émissions liées au trafic routier sur cette portion de l'A4 (baisse supérieure à 20% sur les émissions de NOx, cf. Tableau 6). L'autoroute A4 étant le principal émetteur sur le domaine d'étude (entre 43% et 53% des émissions totales en NOx), **la réalisation du diffuseur du Sycomore associée à la baisse de la vitesse de circulation sur cette portion de l'autoroute entraîne donc une baisse importante des émissions sur le domaine d'étude** (baisse moyenne de -11,5% sur l'ensemble des substances étudiées à l'horizon 2035)**.**

Tableau 6 : contribution de l'autoroute A4 sur les émissions de NOx

Scénario	Emissions en NOx (kg/j)		
	Emissions sur l'A4	Emissions totales sur le domaine d'étude	Contribution de l'A4 par rapport aux émissions totales
Situation initiale 2019	311	591	53 %
Situation fil de l'eau 2025	187	399	47 %
Situation avec projet 2025	146	342	43 %
Situation fil de l'eau 2035	97	205	48 %
Situation avec projet 2035	77	178	43 %

3.3.2 Cartographies

Les cartes qui suivent (Figure 18 à Figure 22) représentent les émissions en NOx pour la situation initiale, et pour les scénarios aux horizons 2025 et 2035 (« fil de l'eau » et avec projet). Pour les représentations graphiques, les NOx ont été retenus comme la substance représentative de la pollution routière. La cartographie des NOx est également représentative des autres substances et montre les voies où les émissions sont les plus importantes.

Les émissions les plus importantes sont observées sur l'autoroute A4 en corrélation avec le trafic routier sur cet axe. L'impact du projet de ZAC de la Rucherie sur les émissions reste négligeable devant les émissions de l'autoroute.

Les cartes de différence d'émissions entre les scénarios « fil de l'eau » et avec projet aux horizons 2025 et 2035 (Figure 23 et Figure 24) permettent de connaître les voies sur lesquelles les émissions augmentent et celles où les émissions diminuent. Conformément à l'évolution du trafic routier, les émissions augmentent sur les nouvelles voies et celles touchant le projet de diffuseur (boulevard des 100 arpents, avenue du Général de Gaulle…). Les émissions diminuent sur l'autoroute A4, au niveau de l'échangeur de la D345, ainsi que sur la D345 et la D406.

Les cartes suivantes ont été réalisées à partir des résultats d'émissions calculées par le logiciel TREFIC suivant la méthodologie COPERT 5, à partir des données de trafic transmises par CDVia.

Figure 18 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation initiale, 2019

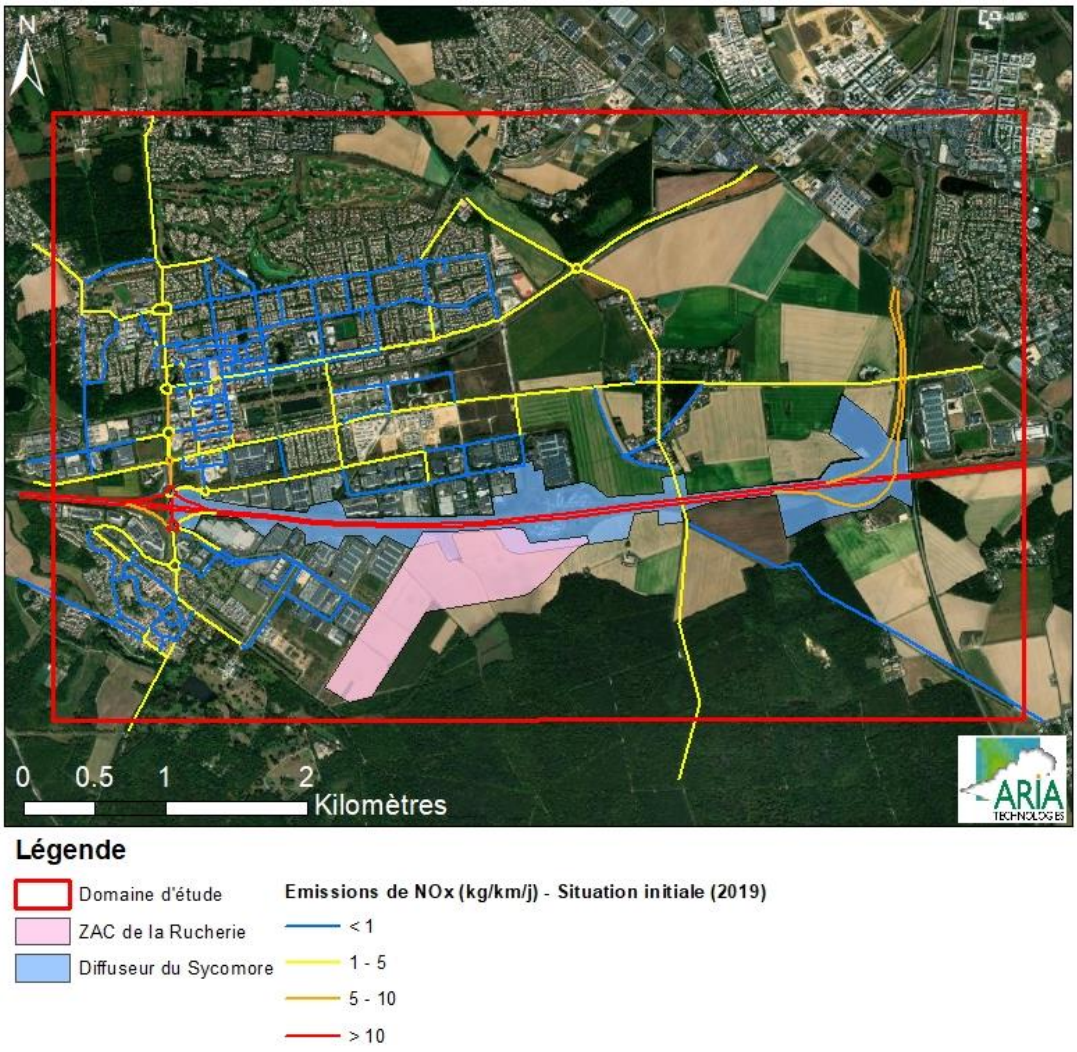


Figure 19 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation « fil de l'eau », 2025

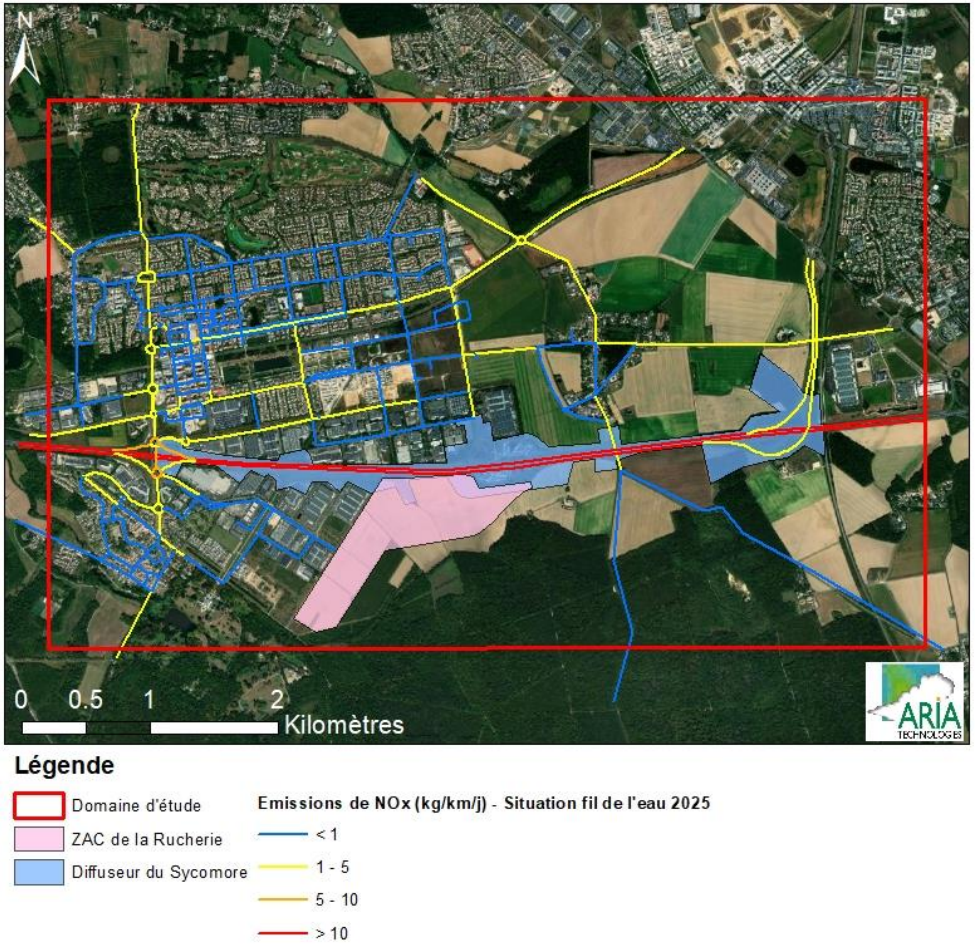


Figure 20 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation avec projet, 2025

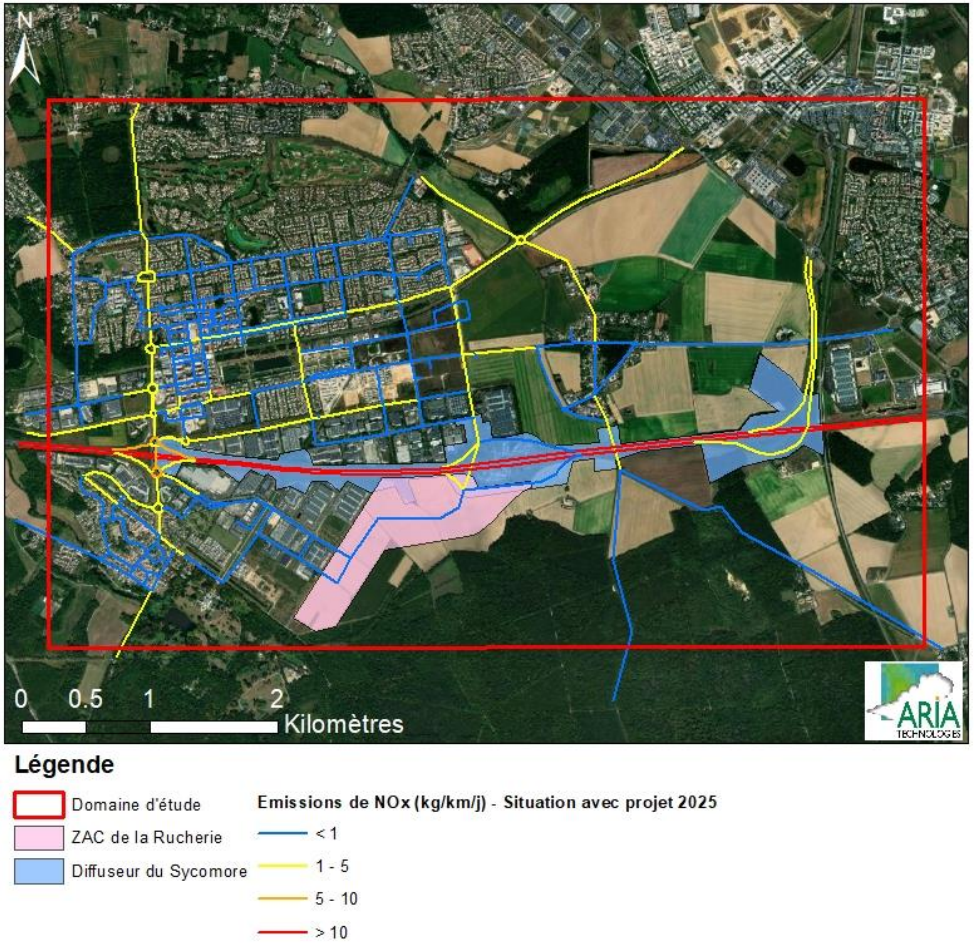


Figure 21 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation « fil de l'eau », 2035

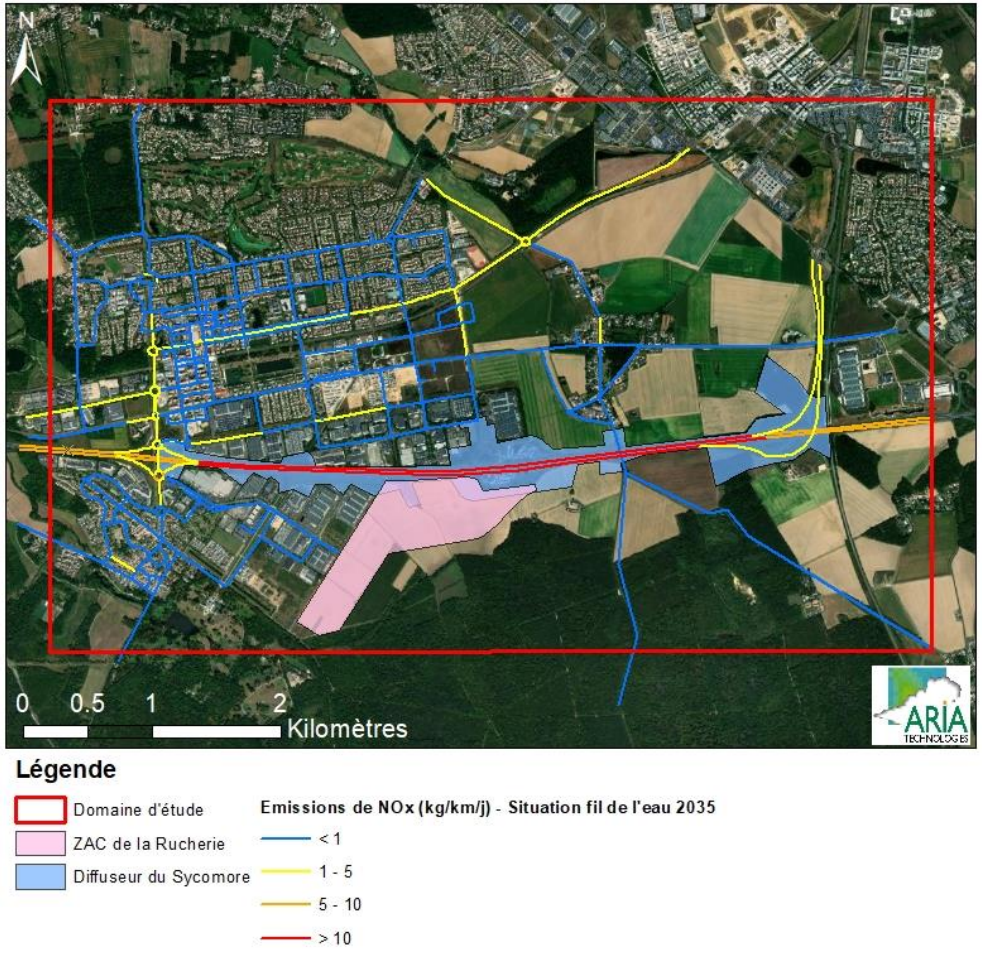


Figure 22 : émissions en NOx (kg/km/j) pour la situation avec projet, 2035

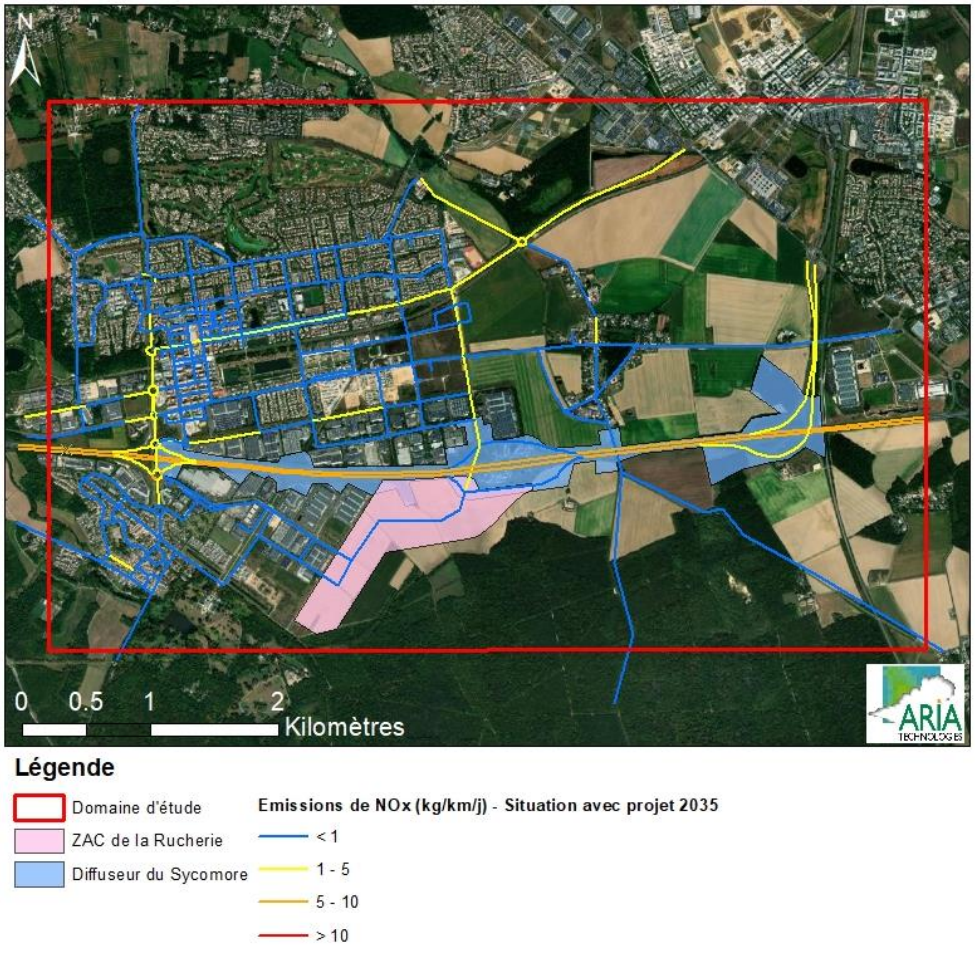


Figure 23 : différence d'émissions en NOx entre la situation avec projet et la situation « fil de l'eau », horizon 2025

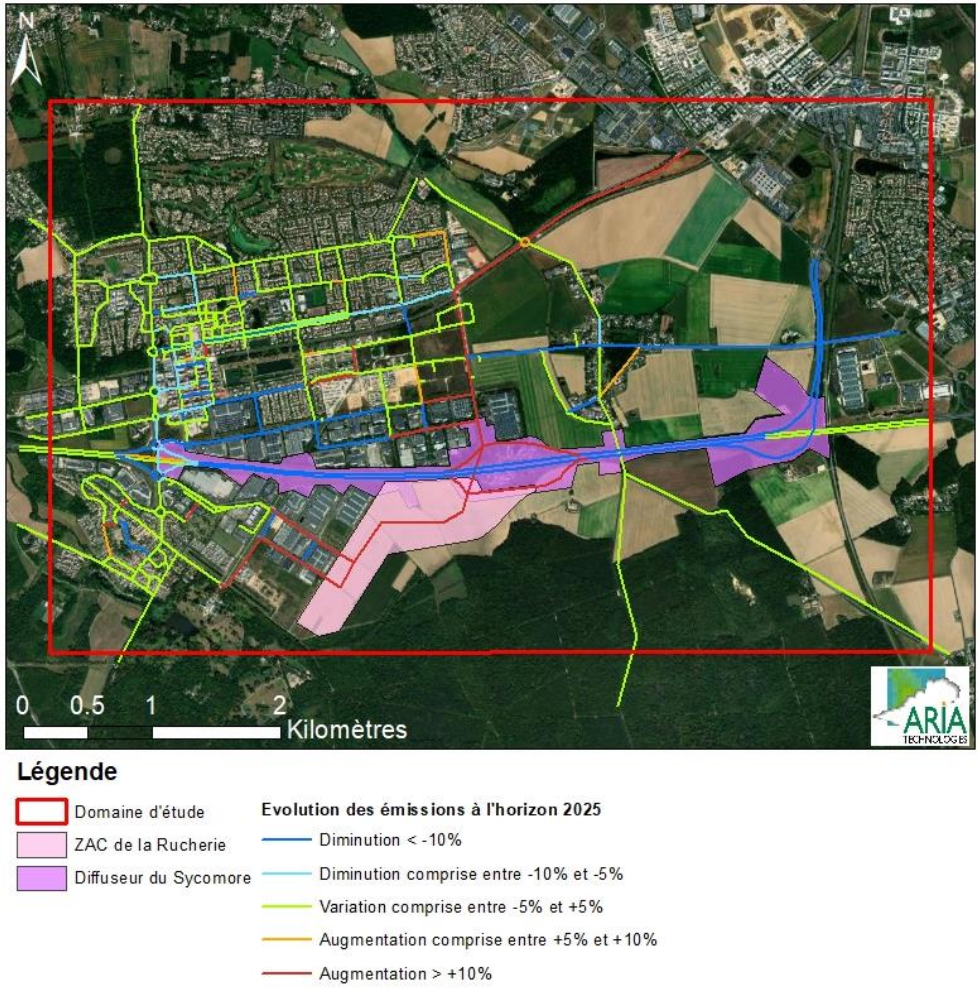
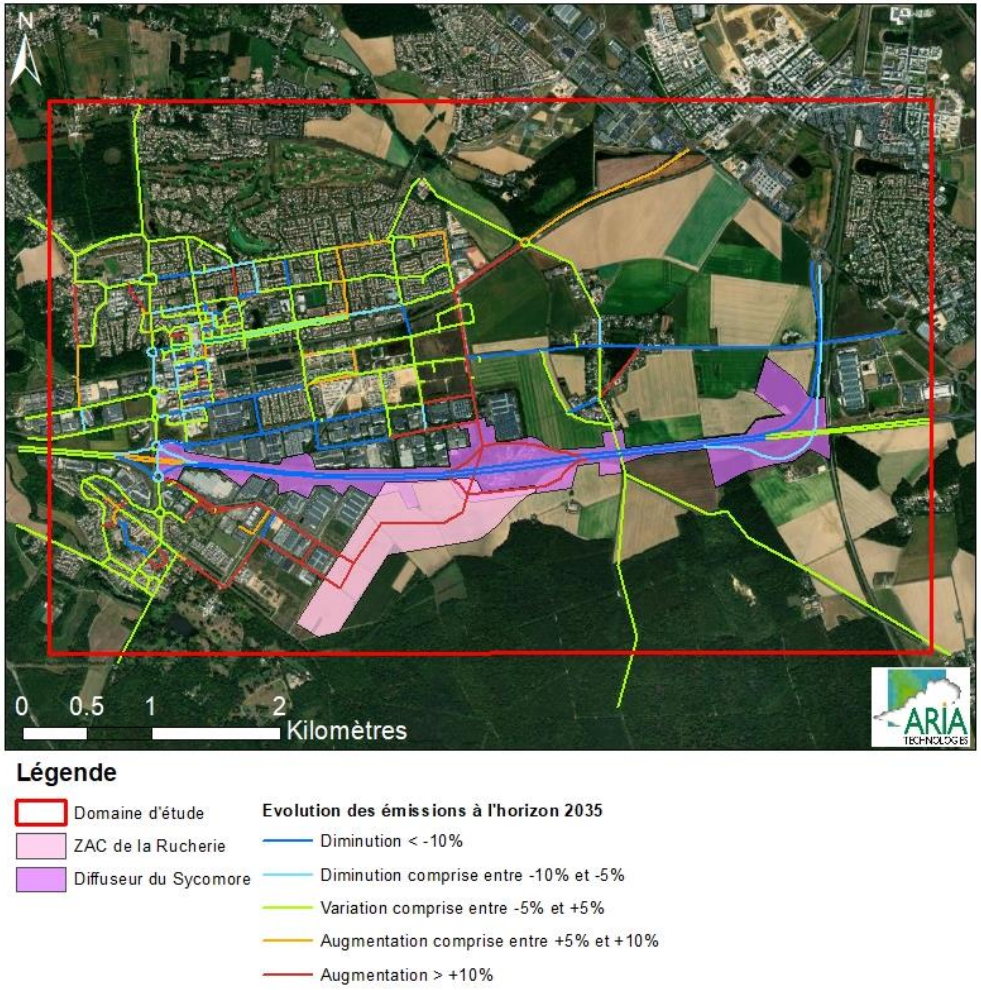


Figure 24 : différence d'émissions en NOx entre la situation avec projet et la situation « fil de l'eau », horizon 2035



4. IMPACT DU PROJET SUR LA QUALITE DE L'AIR

Afin d'étudier l'impact du projet sur la qualité de l'air, des modélisations de la dispersion des polluants atmosphériques ont été réalisées permettant d'estimer les concentrations dans l'air.

4.1 PRESENTATION DU LOGICIEL DE DISPERSION ET PARAMETRAGES

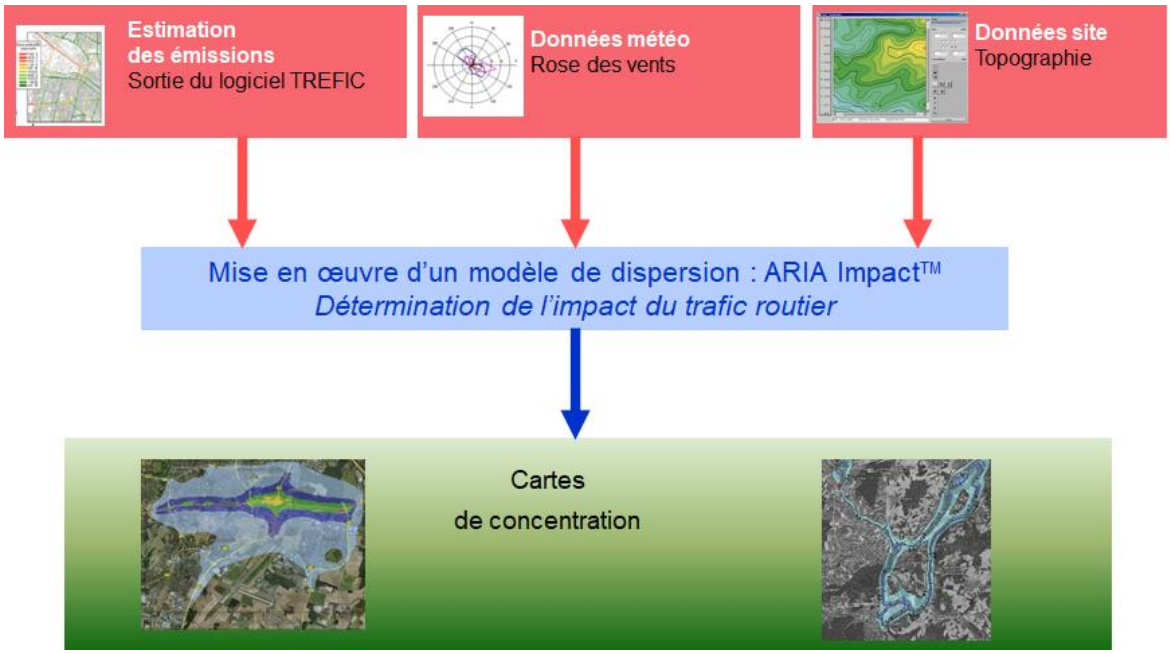
4.1.1 Présentation générale du logiciel

Le modèle utilisé pour cette analyse statistique est le logiciel ARIA Impact, version 1.8.
Ce logiciel permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet de simuler plusieurs années de fonctionnement en utilisant des chroniques météorologiques représentatives du site. En revanche, il ne permet pas de considérer les transformations photochimiques des polluants et de calculer les concentrations de polluants secondaires tel que l'ozone. Sans être un modèle tridimensionnel, ARIA Impact peut prendre en compte la topographie de manière simplifiée.

Par ailleurs, ARIA Impact est un modèle gaussien[9] qui répond aux prescriptions de l'INERIS pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du Guide méthodologique INERIS : « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013).

Une description détaillée du modèle est présentée en Annexe 2.

Figure 25 : diagramme méthodologique pour le calcul de dispersion



[9] Il permet, entre autres, la simulation de la dispersion des polluants atmosphériques (gazeux ou particulaires) issus d'une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques selon des formulations gaussiennes.

4.1.2 Paramétrages du modèle de dispersion

Les hypothèses de calcul suivantes ont été prises en compte :

- une prise en compte simplifiée de la topographie ;
- une rugosité correspondant à une zone urbaine ;
- un modèle de dispersion basé sur les écarts-types de Pasquill ;
- la conversion des NOx en NO/NO_2 selon la formule de Middleton[10] ;
- une maille de calcul de 75 mètres, réduite à 25 mètres le long des axes routiers ;
- les émissions liées au trafic automobile présentées au paragraphe 3.3.

4.1.3 Calcul des dépôts au sol

Les modélisations prennent en compte les dépôts secs et humides sur le sol conduisant à un appauvrissement du panache.

- Dépôts secs : les particules très fines et les gaz se déposent sur les surfaces par divers processus biologiques, chimiques et physiques.
- Dépôts humides : les dépôts humides correspondent aux dépôts de polluant au sol entraînés par la pluie.

4.1.4 Caractéristiques des espèces

Le Tableau 7 résume les valeurs utilisées dans le cadre de cette étude pour le calcul des dépôts.

Tableau 7 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées

Polluant	Phase du polluant	Vitesse de dépôt sec (m/s)	Coefficient de lessivage (s^{-1})	Diamètre de particules (µm)	Source biblio.
Polluants gazeux (NOx, COV, SO2…)	Gaz	0	1.10^{-5}	0	-
Poussières (PM10)	Particules	$1,3.10^{-2}$	4.10^{-4}	10	[2]
Poussières (PM2,5) Métaux	Particules	$0,6.10^{-2}$	8.10^{-5}	2.5	[1]
HAPs, benzo(a)pyrène	Particules	5.10^{-4}	1.10^{-5}	1.3	[3]

[1] WGE RIVM report n° 259101011/2002: Preliminary modelling and mapping of critical loads for cadmium and lead in Europe JP Hettelingh, J. Slootweg, M. Posch (eds.) S. Dutchak, I Ilyin

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

[3] "Atmospheric particle size distributions of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their implications for wet and dry deposition", Heike Kaupp, Mickael S. McLachlan, Atmospheric Environment Vol 33 (1999), 85-95

[10] An empirical function for the ratio NO_2 : NOx, R.G. Derwent and D.R. Middelton, Atmospheric Processes Research Metrological Office, vol. 26 n°3/4, 1996

4.2 DONNEES D'ENTREE POUR LES SIMULATIONS

4.2.1 Emissions

Les émissions prises en compte dans les simulations correspondent aux émissions liées au trafic routier, calculées pour chaque scénario (cf. paragraphe 3.2.3).

4.2.2 Météorologie

Les paramètres les plus importants pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont :

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

Les données météorologiques retenues pour la simulation de dispersion proviennent de la station Météo France de Torcy située à environ 7 km au nord-ouest du projet de ZAC. Elle fournit les données de vent (vitesse et direction), de température et de pluviométrie. Les données de nébulosité proviennent de la station de Melun, station la plus proche mesurant ce paramètre.

Les données météorologiques utilisées sont des données tri-horaires (1 mesure toutes les 3 heures). Ces fichiers comportent trois années de données : du 01/01/2017 au 31/12/2019.

Les principaux résultats de l'analyse des données sur la période étudiée sont présentés dans le Rapport Etat Initial ARIA 2020.046_V2.

La Figure 26 rappelle la rose des vents générale pour la station de Torcy calculée à partir des données tri-horaires sur la période du 01/01/2017 au 31/12/2019. Le Tableau 8 synthétise les fréquences d'occurrence par classe de vitesse, toutes directions confondues.

La rose des vents, en un lieu donné, est la représentation graphique des fréquences des vents classées par direction et vitesse. Les intersections de la courbe avec les cercles d'une fréquence donnée fournissent les fréquences d'apparition des vents en fonction de la direction d'où vient le vent.

Figure 26 : rose des vents générale – 2017 à 2019 (3 ans)

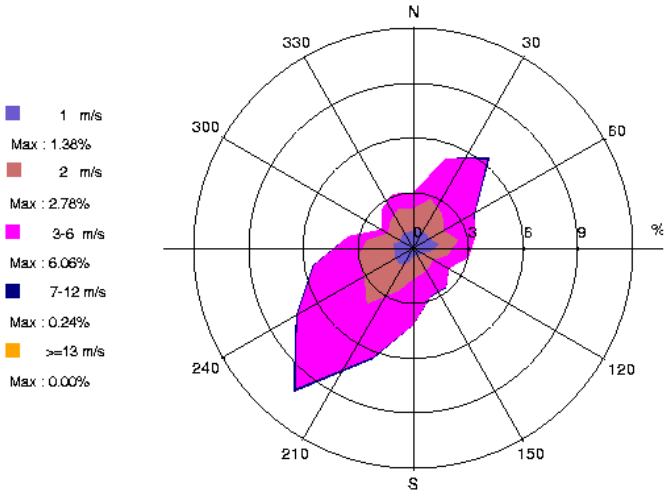


Tableau 8 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent toutes directions confondues

Classe de vitesse (m/s)	calmes	1	2	3-6	7-12	>=13
Borne de l'intervalle	[0 ; 0,9[	[0,9 ; 1,5[	[1,5 ; 2,5[	[2,5 ; 6,5[	[6,5 ; 12,5[	[12,5 ; ∝[
Fréquence (%)	22.04%	15.75%	24.18%	36.97%	1.06%	0.00%

4.2.3 Topographie

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 75 mètres (BD Alti® de l'IGN). La Figure 27, ci-dessous, présente une vue 2D de la topographie sur le domaine d'étude.
L'unité est le mètre NGF (Nivellement Général de la France). Sur la zone d'étude, le relief est compris entre 79 m NGF et 146 m NGF.

Figure 27 : topographie du domaine d'étude (source : IGN BD ALTI®)

4.3 RESULTATS DES SIMULATIONS DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

4.3.1 Présentation des résultats

Les résultats de l'étude sont donnés sous forme de cartes et de tableaux présentant :

- les concentrations moyennes annuelles pour les substances étudiées dans les ERS des études de niveau I pour l'exposition chronique à savoir : NO_2, PM10, PM2,5, benzène, 1,3-butadiène, B(a)P, arsenic, nickel et chrome.
- les concentrations en centile 100 (concentration maximale enregistrée sur l'année) pour les substances étudiées dans les ERS des études de niveau I pour l'exposition aigue à savoir : NO_2, PM10, PM2,5.

L'unité retenue pour exprimer les concentrations de polluant dans l'air est le µg/m^3 (microgramme par m^3 = 10^{-6} g/m^3).

4.3.1.1 Pollution de fond

Les résultats de la modélisation tiennent compte uniquement des émissions liées au trafic routier présent dans la zone d'étude. La pollution de fond sur la zone d'étude a été ajoutée aux résultats de la modélisation selon les hypothèses présentées dans le tableau ci-dessous conformément aux préconisations du guide Cerema.

Tableau 9 : valeurs de bruit de fond retenues

Substance	Unité	Référence 2019	Horizons 2025 et 2035	Source
NO_2	µg/m^3	14.1	13.1	Campagnes de mesure
PM10	µg/m^3	18.7	18.7	Station Lognes (Airparif)
PM2,5	µg/m^3	12	12	Carte opendata (Airparif)
Benzène	µg/m^3	0.9	0.9	Station périurbaine Gonesse (Airparif)
COV	µg/m^3	0	0	Pas d'information
SO_2	µg/m^3	0	0	Bilan 2019 Airparif
Arsenic	ng/m^3	0.2	0.2	Station urbaine Paris (Airparif)
Nickel	ng/m^3	0.9	0.9	Station urbaine Paris (Airparif)
Chrome	ng/m^3	0	0	Pas d'information
1,3 butadiène	µg/m^3	0	0	Pas d'information
Benzo(a)pyrène	ng/m^3	0.3	0.3	Station périurbaine Pommeuse (Airparif)
16 HAP	ng/m^3	1.9	1.9	Station périurbaine Pommeuse (Airparif)

Ces valeurs proviennent du bilan de la qualité de l'air Airparif pour l'année 2019[11], des mesures à la station Airparif la plus proche (Lognes) et des campagnes de mesure pour la situation initiale (cf. Rapport ARIA/2020.046_V2). Pour les horizons 2025 et 2035, mis à part pour le NO_2[12], aucune donnée fiable ne permet à ce jour d'extrapoler la pollution de fond, nous proposons donc de prendre les mêmes concentrations de fond que 2019 (hypothèse pessimiste).

[11] https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/bilan-2019.pdf

[12] Rapport « Zone à faibles émissions dans l'agglomération parisienne » - Airparif – Décembre 2018

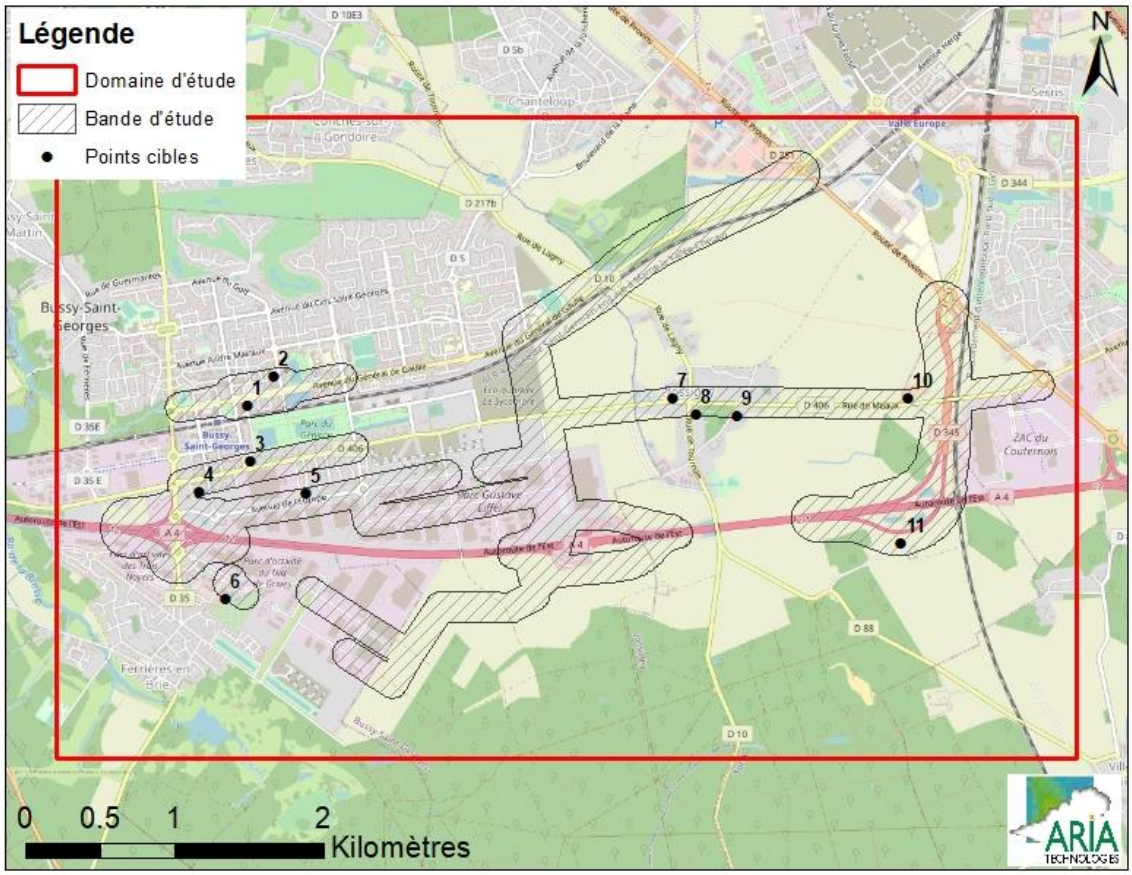
4.3.1.2 Points cibles

Les résultats sont présentés au niveau des établissements sensibles présents dans la bande d'étude ainsi qu'au niveau d'habitations choisies pour leur proximité vis-à-vis de l'A4 (cf. Tableau 10). Ces points cibles sont localisés sur la Figure 28.

Tableau 10 : points cibles

Identifiant	Nom	Commune
1	Crèches Bibou le Hibou et Les Lucioles	Bussy-Saint-Georges
2	Ecole maternelle et primaire Charles Perrault	Bussy-Saint-Georges
3	Ecoles maternelle et primaire Jules Verne	Bussy-Saint-Georges
4	Habitations Rue Emile Peynaud	Bussy-Saint-Georges
5	Habitations Allée Paul Langevin	Bussy-Saint-Georges
6	Habitations Chemin de la Roseraie	Ferrières-en-Brie
7	Ecole élémentaire publique	Jossigny
8	Habitations Rue de Tournan	Jossigny
9	Habitations Rue Ferraille	Jossigny
10	Habitations D406	Jossigny
11	Habitations Sud sortie A4	Jossigny

Figure 28 : localisation des points cibles



4.3.1.3 Valeurs réglementaires de la qualité de l'air

Les résultats des simulations peuvent ensuite être comparés aux valeurs réglementaires françaises de la qualité de l'air[13] rappelées dans le Tableau 11, ci-dessous. Ce tableau présente également les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé.

Tableau 11 : réglementation en vigueur en France pour la santé humaine (source : code de l'environnement, Titre II Livre II et OMS 2005)

Substance	Unité	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Recommandation OMS
PM10	µg/m³	40	30	20
PM2,5	µg/m³	25	10	10
NO_2	µg/m³	40	-	40
Benzène	µg/m³	5	2	-
SO_2	µg/m³	-	50	-
COV	µg/m³	25	10	-
Nickel	ng/m³	-	20*	-
Arsenic	ng/m³	-	6*	-
B(a)P	ng/m³	-	1*	-

*valeur cible

Définitions :

- **Valeur limite :** niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.
- **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.
- **Objectif de qualité :** niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

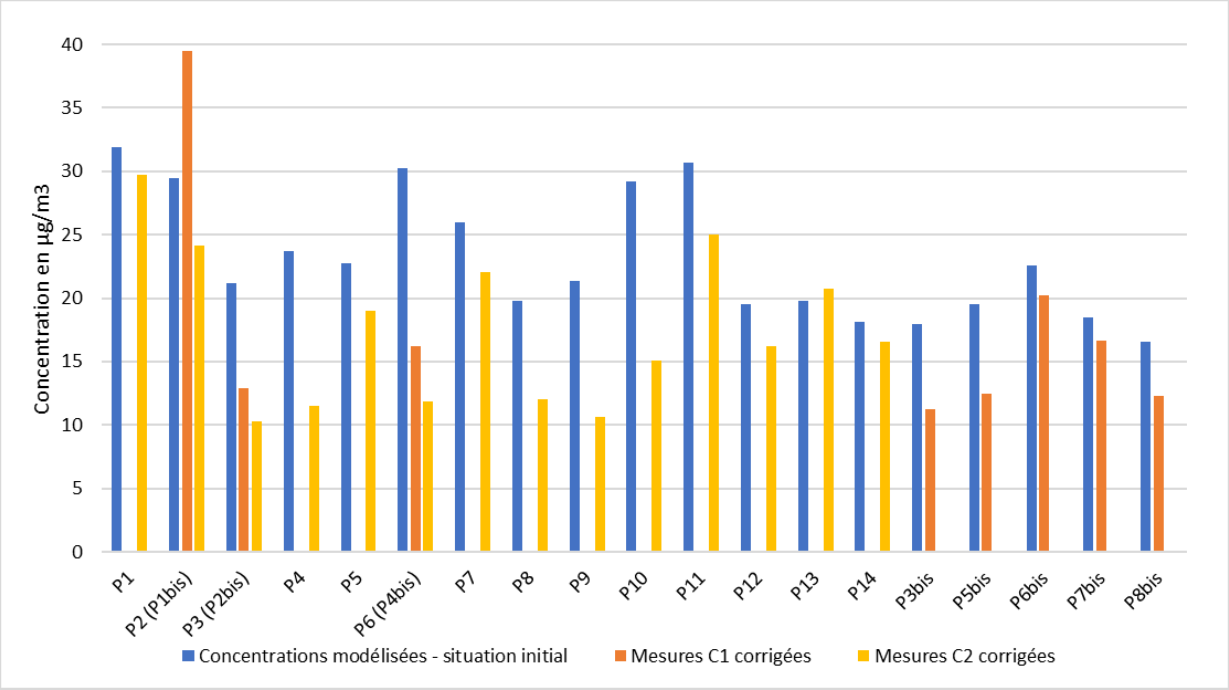
[13] Valeurs réglementaires françaises du Code de l'Environnement (titre II Livre II) relatif aux objectifs de qualité de l'air et aux valeurs limites

4.3.2 Comparaison avec les mesures in situ

Afin de valider les modélisations, une comparaison des concentrations obtenues par modélisation pour la situation initiale 2019 et des concentrations mesurées lors des campagnes de mesures réalisées du 13 au 27 octobre 2020 et du 10 au 24 novembre 2020 (cf. rapport Etat Initial ARIA 2020.046_V2) est présentée dans le Tableau 12. Les points de mesure sont localisés sur les Figure 29 et Figure 30.

Les résultats des simulations correspondent à des concentrations moyennes annuelles en retenant le trafic pour l'année 2019. Les concentrations mesurées lors des campagnes de mesure correspondent, quant à elles, à des concentrations mesurées sur deux semaines en automne 2020. Celles-ci sont donc représentatives des concentrations moyennes sur 2 semaines et non de concentrations moyennes annuelles. D'après les résultats des campagnes de mesure, la période de mesure se caractérise par des teneurs en NO_2 plus faibles d'environ 25 % par rapport à la moyenne annuelle pour la première campagne de mesure, et des teneurs en NO_2 plus élevées d'environ 10 % par rapport à la moyenne annuelle pour la seconde campagne de mesure. Les résultats des mesures ont donc été corrigés pour estimer des moyennes annuelles et être comparables aux résultats de la modélisation. Les points de la première campagne sont renommés en « point bis ».

Tableau 12 : comparaison des résultats de la modélisation avec les mesures

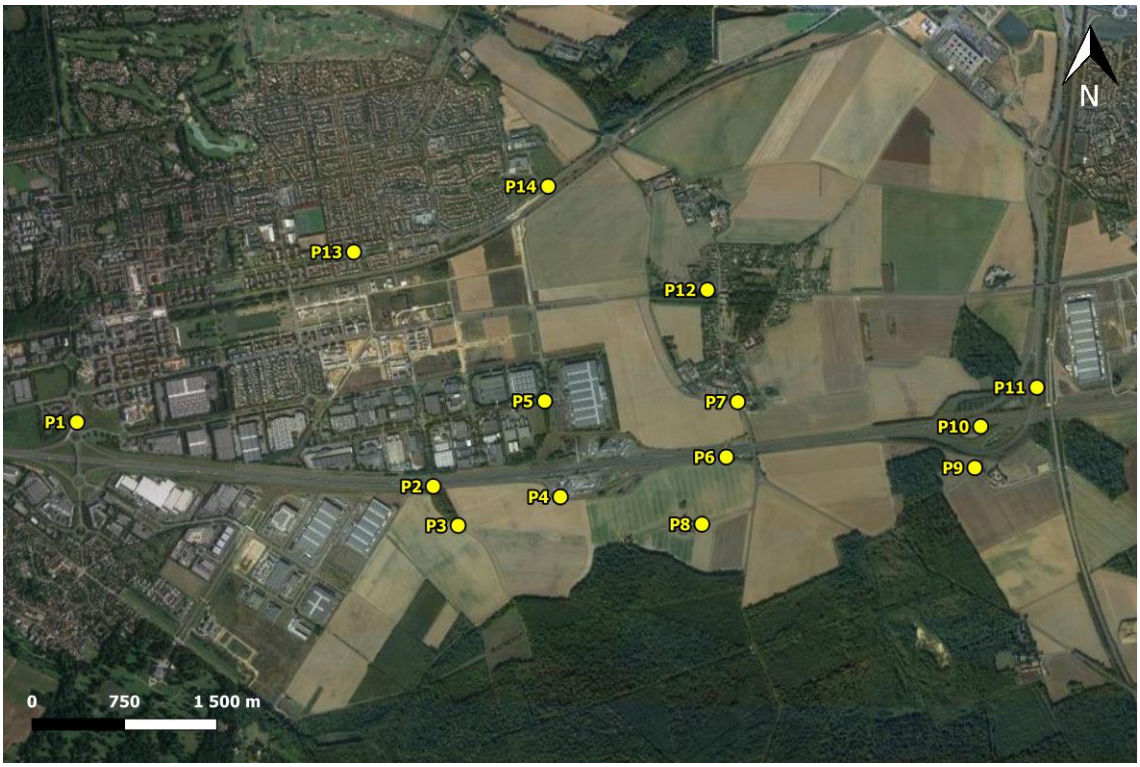


Les concentrations modélisées sont cohérentes avec les concentrations mesurées lors des campagnes de mesure :

- Les concentrations modélisées sont globalement du même ordre de grandeur ou plus élevées que les valeurs mesurées en 2020 (le ratio moyen entre les résultats de la modélisation et les mesures est de 1,4).
- Les concentrations mesurées lors des campagnes de mesure correspondent à une période de trafic légèrement plus faible du fait de la crise sanitaire, entrainant probablement des concentrations dans l'air plus faibles que celles que l'on a pu observer en 2019, année prise comme année de référence pour la modélisation de la situation initiale.

Figure 29 : Plan d'échantillonnage de la première campagne (du 13 au 27/10/20)

Figure 30 : Plan d'échantillonnage de la seconde campagne (du 10 au 24/11/20)



4.3.3 Evolution des concentrations entre les scénarios

Les Figure 31 et Figure 32 présentent graphiquement les résultats de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 et les particules fines (PM10) au niveau des points cibles retenus.

Figure 31 : concentration en NO_2 au niveau des points cibles

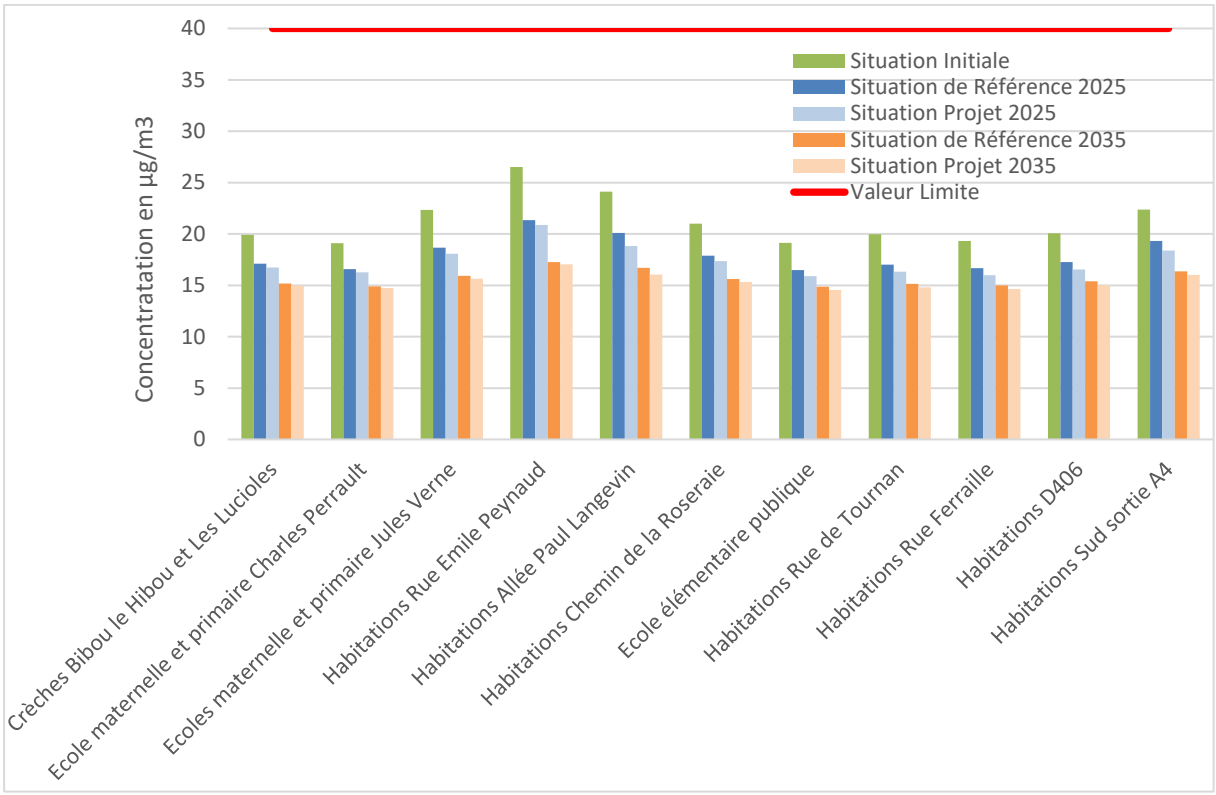


Figure 32 : concentration en PM10 au niveau des points cibles

Les résultats complets pour l'ensemble des substances sont présentés dans les Tableau 13 à Tableau 17 au niveau des points récepteurs retenus (cf. paragraphe 4.3.1.2) et du point le plus exposé du domaine d'étude. Ces résultats tiennent compte de la pollution de fond (cf. paragraphe 4.3.1.1).

Tableau 13 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs - NO_2

Concentrations moyennes annuelles		NO_2						
		Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Impact du projet à l'horizon 2025	Impact du projet à l'horizon 2035
Id	Point récepteur	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	% de la VL	% de la VL
1	Crèches Bibou le Hibou et Les Lucioles	19.9	17.1	16.7	15.2	15.0	-0.9%	-0.4%
2	Ecole maternelle et primaire Charles Perrault	19.1	16.6	16.3	14.9	14.8	-0.8%	-0.4%
3	Ecoles maternelle et primaire Jules Verne	22.4	18.7	18.1	15.9	15.7	-1.4%	-0.7%
4	Habitations Rue Emile Peynaud	26.5	21.3	20.9	17.3	17.1	-1.1%	-0.5%
5	Habitations Allée Paul Langevin	24.1	20.1	18.8	16.7	16.0	-3.2%	-1.7%
6	Habitations Chemin de la Roseraie	21.0	17.9	17.3	15.6	15.3	-1.4%	-0.7%
7	Ecole élémentaire publique	19.1	16.5	15.9	14.9	14.6	-1.5%	-0.8%
8	Habitations Rue de Tournan	20.0	17.0	16.3	15.2	14.8	-1.7%	-0.9%
9	Habitations Rue Ferraille	19.3	16.7	16.0	15.0	14.6	-1.8%	-0.9%
10	Habitations D406	20.1	17.3	16.5	15.4	15.0	-1.8%	-1.0%
11	Habitations Sud sortie A4	22.4	19.3	18.4	16.4	16.0	-2.3%	-0.8%
Point le plus exposé du domaine d'étude		50.1	40.1	35.4	29.3	26.1	-11.8%	-8.0%
Pollution de fond		*14.1*	*13.1*	*13.1*	*13.1*	*13.1*		
Réglementation : valeur limite (VL)		40						
Réglementation : objectif de qualité		-						
Réglementation : valeur cible		-						

** impact du projet = (projet – fil de l'eau)/valeur limite x 100*

Tableau 14 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs - PM_{10} et $PM_{2,5}$

Concentrations moyennes annuelles		PM10							PM2.5						
		Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Impact du projet à l'horizon 2025	Impact du projet à l'horizon 2035	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Impact du projet à l'horizon 2025	Impact du projet à l'horizon 2035
Id	Point récepteur	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	% de la VL	% de la VL	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	% de la VL	% de la VL
1	Crèches Bibou le Hibou et Les Lucioles	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	-0.1%	0.0%	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	-0.1%	0.0%
2	Ecole maternelle et primaire Charles Perrault	19.1	19.1	19.0	19.0	19.0	0.0%	0.0%	12.3	12.3	12.3	12.2	12.2	-0.1%	0.0%
3	Ecoles maternelle et primaire Jules Verne	19.3	19.2	19.2	19.2	19.2	-0.1%	-0.1%	12.5	12.4	12.4	12.4	12.3	-0.1%	-0.1%
4	Habitations Rue Emile Peynaud	19.7	19.6	19.6	19.5	19.5	-0.1%	0.0%	12.8	12.7	12.6	12.6	12.6	-0.1%	-0.1%
5	Habitations Allée Paul Langevin	19.4	19.3	19.3	19.3	19.2	-0.1%	-0.1%	12.6	12.5	12.4	12.4	12.4	-0.2%	-0.1%
6	Habitations Chemin de la Roseraie	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	0.0%	0.0%	12.4	12.3	12.3	12.3	12.3	0.0%	0.0%
7	Ecole élémentaire publique	19.0	19.0	19.0	19.0	18.9	0.0%	0.0%	12.3	12.2	12.2	12.2	12.2	-0.1%	0.0%
8	Habitations Rue de Tournan	19.1	19.0	19.0	19.0	19.0	0.0%	0.0%	12.3	12.3	12.2	12.2	12.2	-0.1%	0.0%
9	Habitations Rue Ferraille	19.0	19.0	18.9	19.0	18.9	0.0%	0.0%	12.3	12.2	12.2	12.2	12.2	0.0%	0.0%
10	Habitations D406	19.1	19.0	19.0	19.0	19.0	-0.1%	-0.1%	12.3	12.3	12.2	12.2	12.2	-0.1%	-0.1%
11	Habitations Sud sortie A4	19.2	19.2	19.1	19.1	19.1	-0.2%	0.0%	12.5	12.4	12.3	12.3	12.3	-0.2%	0.0%
Point le plus exposé du domaine		22.4	22.0	21.8	21.7	21.6	-0.4%	-0.3%	14.9	14.2	14.1	13.9	13.8	-0.5%	-0.2%
Pollution de fond		*18.7*	*18.7*	*18.7*	*18.7*	*18.7*			*12*	*12*	*12*	*12*	*12*		
Réglementation : valeur limite (VL)		40							25						
Réglementation : objectif de qualité		30							10						
Réglementation : valeur cible		-							-						

** impact du projet = (projet – fil de l'eau)/valeur limite x 100*

Tableau 15 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs – COV, benzène et SO_2

Concentrations moyennes annuelles		COV					Benzène					SO_2				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Id	Point récepteur	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
1	Crèches Bibou le Hibou et Les Lucioles	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
2	Ecole maternelle et primaire Charles Perrault	1.6	1.4	1.4	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
3	Ecoles maternelle et primaire Jules Verne	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
4	Habitations Rue Emile Peynaud	2.3	1.8	1.8	1.5	1.5	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
5	Habitations Allée Paul Langevin	2.1	1.7	1.6	1.4	1.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
6	Habitations Chemin de la Roseraie	1.8	1.5	1.5	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
7	Ecole élémentaire publique	1.6	1.4	1.4	1.3	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
8	Habitations Rue de Tournan	1.7	1.4	1.4	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
9	Habitations Rue Ferraille	1.6	1.4	1.4	1.3	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
10	Habitations D406	1.7	1.5	1.4	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
11	Habitations Sud sortie A4	1.9	1.6	1.6	1.4	1.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Point le plus exposé du domaine		4.3	3.4	3.0	2.5	2.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2
Pollution de fond		*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0.9*	*0.9*	*0.9*	*0.9*	*0.9*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
Réglementation : valeur limite (VL)				-					5					-		
Réglementation : objectif de qualité				-					2					50		
Réglementation : valeur cible				-					-					-		

Tableau 16 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs – arsenic, nickel et chrome

Concentrations moyennes annuelles		Arsenic					Nickel					Chrome				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Id	Point récepteur	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
1	Crèches Bibou le Hibou et Les Lucioles	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	8.4E-06	7.3E-06	6.9E-06	6.6E-06	6.3E-06
2	Ecole maternelle et primaire Charles Perrault	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	7.3E-06	6.5E-06	6.1E-06	5.8E-06	5.6E-06
3	Ecoles maternelle et primaire Jules Verne	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	1.2E-05	1.0E-05	9.4E-06	8.8E-06	8.4E-06
4	Habitations Rue Emile Peynaud	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	1.9E-05	1.6E-05	1.5E-05	1.4E-05	1.3E-05
5	Habitations Allée Paul Langevin	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	1.4E-05	1.1E-05	1.0E-05	9.6E-06	9.0E-06
6	Habitations Chemin de la Roseraie	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.5E-06	7.7E-06	7.6E-06	6.6E-06	6.7E-06
7	Ecole élémentaire publique	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	6.5E-06	5.2E-06	4.8E-06	4.6E-06	4.3E-06
8	Habitations Rue de Tournan	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	7.7E-06	6.1E-06	5.8E-06	5.4E-06	5.2E-06
9	Habitations Rue Ferraille	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	6.3E-06	5.1E-06	4.8E-06	4.5E-06	4.4E-06
10	Habitations D406	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	7.6E-06	6.3E-06	5.6E-06	5.7E-06	5.2E-06
11	Habitations Sud sortie A4	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	1.1E-05	9.5E-06	8.3E-06	7.6E-06	7.4E-06
Point le plus exposé du domaine		2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	9.4E-04	9.4E-04	9.4E-04	9.3E-04	9.3E-04	6.9E-05	5.3E-05	5.0E-05	4.5E-05	4.3E-05
Pollution de fond		*2.2E-04*	*2.2E-04*	*2.2E-04*	*2.2E-04*	*2.2E-04*	*9.2E-04*	*9.2E-04*	*9.2E-04*	*9.2E-04*	*9.2E-04*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
Réglementation : valeur limite (VL)				-					-					-		
Réglementation : objectif de qualité				-					-					-		
Réglementation : valeur cible				0.006					0.02					-		

Tableau 17 : concentration en moyenne annuelle au niveau des points récepteurs – 1,3 butadiène, benzo(a)pyrène et 16 HAP

Concentrations moyennes annuelles		1,3 Butadiène					Benzo(a)pyrène					16 HAP				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Id	Point récepteur	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3	µg/m3
1	Crèches Bibou le Hibou et Les Lucioles	1.7E-02	1.2E-02	1.1E-02	6.1E-03	5.6E-03	3.3E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.7E-03	3.5E-03	3.5E-03	3.0E-03	3.0E-03
2	Ecole maternelle et primaire Charles Perrault	1.5E-02	1.0E-02	9.3E-03	5.3E-03	4.9E-03	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.4E-03	3.3E-03	3.3E-03	2.9E-03	2.9E-03
3	Ecoles maternelle et primaire Jules Verne	2.4E-02	1.6E-02	1.5E-02	8.3E-03	7.5E-03	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.2E-04	3.2E-04	4.4E-03	4.1E-03	4.0E-03	3.5E-03	3.4E-03
4	Habitations Rue Emile Peynaud	3.7E-02	2.4E-02	2.3E-02	1.2E-02	1.2E-02	3.5E-04	3.4E-04	3.4E-04	3.3E-04	3.3E-04	5.9E-03	5.4E-03	5.3E-03	4.3E-03	4.3E-03
5	Habitations Allée Paul Langevin	2.9E-02	2.1E-02	1.7E-02	1.1E-02	8.7E-03	3.4E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	4.8E-03	4.5E-03	4.4E-03	3.7E-03	3.7E-03
6	Habitations Chemin de la Roseraie	2.0E-02	1.4E-02	1.2E-02	7.4E-03	6.6E-03	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.2E-04	3.2E-04	4.0E-03	3.8E-03	3.8E-03	3.2E-03	3.2E-03
7	Ecole élémentaire publique	1.5E-02	1.0E-02	8.2E-03	5.2E-03	4.3E-03	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.3E-03	3.1E-03	3.1E-03	2.8E-03	2.8E-03
8	Habitations Rue de Tournan	1.7E-02	1.2E-02	9.5E-03	6.0E-03	5.0E-03	3.3E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.6E-03	3.3E-03	3.3E-03	2.9E-03	2.9E-03
9	Habitations Rue Ferraille	1.5E-02	1.1E-02	8.4E-03	5.6E-03	4.5E-03	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.3E-03	3.2E-03	3.2E-03	2.8E-03	2.8E-03
10	Habitations D406	1.8E-02	1.2E-02	1.0E-02	6.7E-03	5.6E-03	3.3E-04	3.3E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.8E-03	3.6E-03	3.5E-03	3.2E-03	3.1E-03
11	Habitations Sud sortie A4	2.4E-02	1.8E-02	1.6E-02	9.6E-03	8.6E-03	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	4.5E-03	4.4E-03	4.2E-03	3.6E-03	3.6E-03
Point le plus exposé du domaine		1.1E-01	7.9E-02	6.6E-02	4.8E-02	3.8E-02	4.3E-04	4.2E-04	4.2E-04	3.9E-04	3.9E-04	1.5E-02	1.4E-02	1.4E-02	1.1E-02	1.1E-02
Pollution de fond		*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	3.1E-04	3.1E-04	3.1E-04	3.1E-04	3.1E-04	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03
Réglementation : valeur limite (VL)		-					-					-				
Réglementation : objectif de qualité		-					-					-				
Réglementation : valeur cible		-					0.001					-				

Les Figure 33 à Figure 37 (pages suivantes) présentent les cartographies des concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote pour chacun des scénarios étudiés, en incluant le bruit de fond.

Résultats relatifs à la situation initiale :

- Les concentrations en NO_2 sont supérieures ou égales à la valeur limite fixée à 40 µg/m^3 par la réglementation française à proximité immédiate de l'autoroute. La cartographie (Figure 33) montre que les niveaux de concentrations en NO_2 diminuent rapidement en s'éloignant de cet axe. A noter que le bruit de fond est important : il représente selon les points cibles entre 53 % et 74 % des concentrations calculées pour le NO_2.
- Les concentrations en PM10 restent inférieures aux valeurs réglementaires françaises (objectif de qualité et valeur limite) sur tout le domaine d'étude, et en particulier au niveau des points cibles retenus. Le bruit de fond représente selon les points cibles entre 95 % et 98 % des concentrations calculées pour les PM10.
- Les concentrations en PM2,5 restent inférieures à la valeur limite sur tout le domaine d'étude, et en particulier au niveau des points cibles, mais dépassent l'objectif de qualité, le bruit de fond en PM2,5 dépassant à lui seul cette valeur.
- Les valeurs réglementaires fixées par la réglementation française pour le benzène, l'arsenic, le nickel, le SO_2 et le benzo(a)pyrène sont respectées pour l'ensemble des points cibles et sur tout le domaine d'étude.
- Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour les COV, le chrome et le 1,3-butadiène.

Comparaison des scénarios « fil de l'eau » et « avec projet » à l'horizon 2025 :

- Les concentrations calculées à l'horizon 2025 sont plus faibles que celles calculées pour la situation initiale en raison des émissions qui baissent (évolution du parc routier entre 2019 et 2025 et mise en circulation de véhicules moins polluants).
- Les concentrations en NO_2 sont inférieures à la valeur limite fixée à 40 µg/m^3 par la réglementation française au niveau de tous les points cibles. Les concentrations en PM10 et PM2,5 restent inférieures aux valeurs limites sur tout le domaine d'étude et en particulier au niveau des points cibles étudiés. L'objectif de qualité des PM2,5 est en revanche dépassé au niveau de tous les points cibles, le bruit de fond dépassant à lui seul cette valeur.
- Compte tenu de la baisse de la vitesse de circulation sur l'autoroute A4 (130 à 110 km/h) au niveau du projet de diffuseur, les concentrations baissent sur cette portion de l'autoroute (-10%), ce qui entraîne une légère diminution des concentrations au niveau des zones habitées.

Comparaison des scénarios « fil de l'eau » et « avec projet » à l'horizon 2035 :

- Les concentrations calculées à l'horizon 2035 sont plus faibles que celles calculées à l'horizon 2025 en raison des émissions qui baissent (évolution du parc routier entre 2025 et 2035, et mise en circulation de véhicules moins polluants).
- Les concentrations en NO_2 sont inférieures à la valeur limite fixée à 40 µg/m^3 par la réglementation française au niveau de tous les points cibles et sur tout le domaine d'étude. Les concentrations en PM10 et PM2,5 restent inférieures aux valeurs limites sur tout le domaine d'étude et en particulier au niveau des points cibles étudiés. L'objectif de qualité des PM2,5 est en revanche dépassé au niveau de tous les points cibles, le bruit de fond dépassant à lui seul cette valeur.

- Compte tenu de la baisse de la vitesse de circulation sur l'autoroute A4 (130 à 110 km/h) au niveau du projet de diffuseur, les concentrations baissent sur cette portion de l'autoroute (-10%), ce qui entraîne une légère diminution des concentrations au niveau des zones habitées.

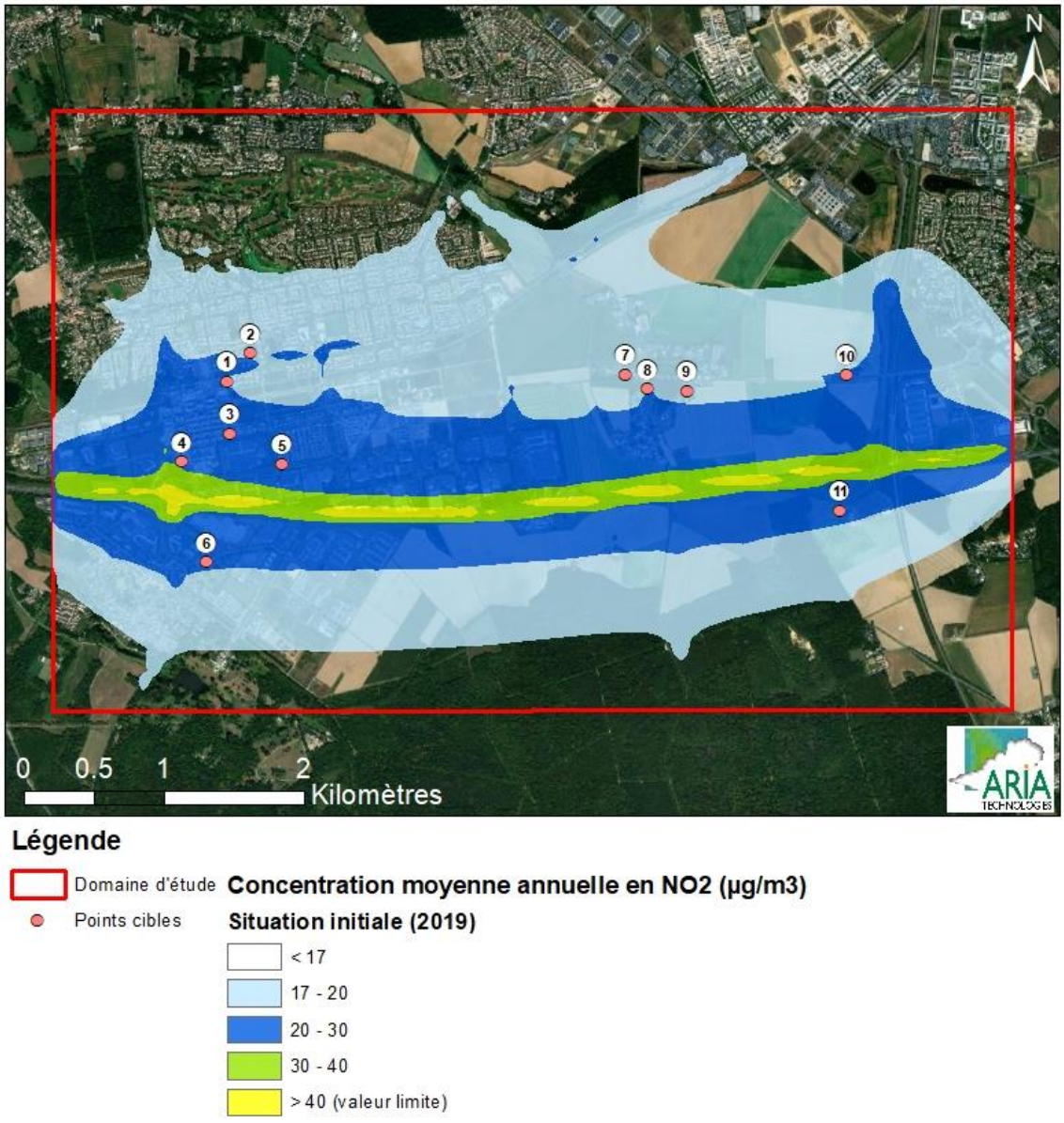
Conclusion sur l'impact des projets sur la qualité de l'air :

En conclusion, le projet de diffuseur associé à la baisse de la vitesse de circulation sur l'autoroute A4 qui passe de 130 à 110 km/h entraîne une diminution des concentrations dans l'air le long de l'autoroute (principale émetteur de la zone d'étude) et au niveau des zones habitées de manière moins marquée selon sa distance à l'autoroute.

L'impact du projet de ZAC de la Rucherie sur la qualité de l'air reste négligeable devant l'impact de l'autoroute A4.

La Figure 33 présente la cartographie des concentrations moyennes annuelles à 1 mètre du sol en dioxyde d'azote pour la situation initiale.

Figure 33 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – situation initiale, 2019



Les Figure 34 et Figure 35 présentent les cartographies des concentrations moyennes annuelles à 1 mètre du sol en dioxyde d'azote pour l'horizon 2025, situation « fil de l'eau » à gauche et avec projet, à droite.

Figure 34 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – « fil de l'eau », 2025

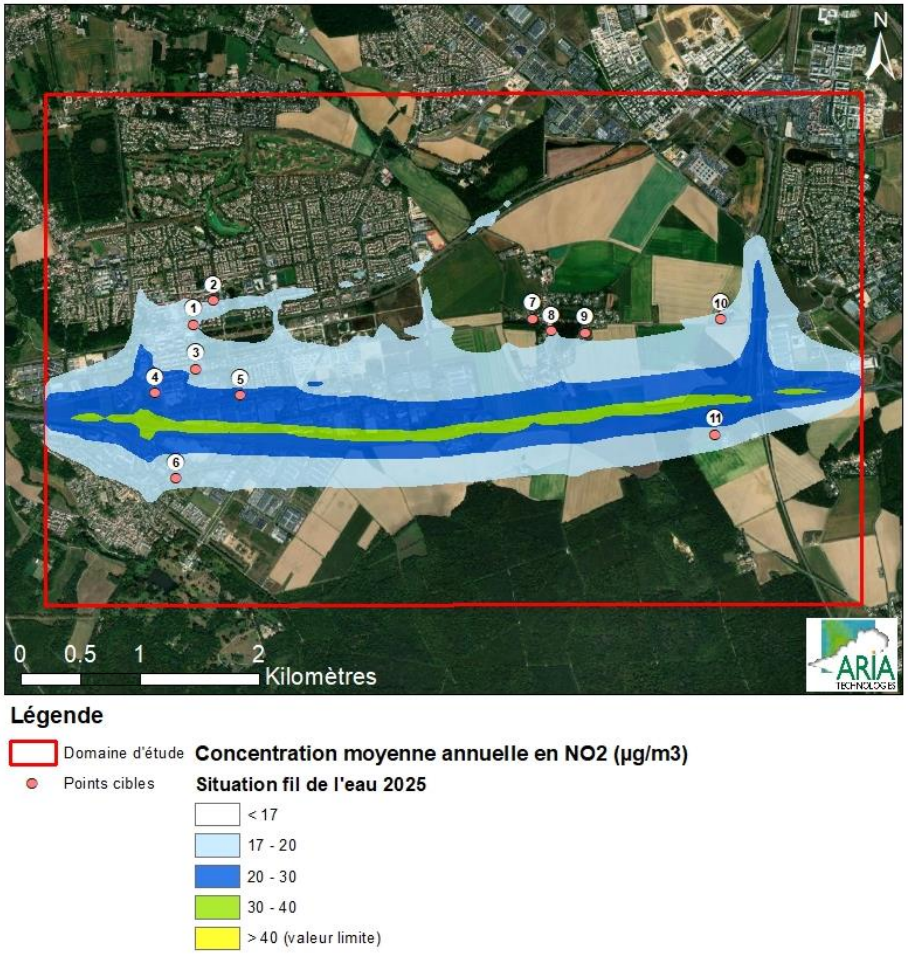
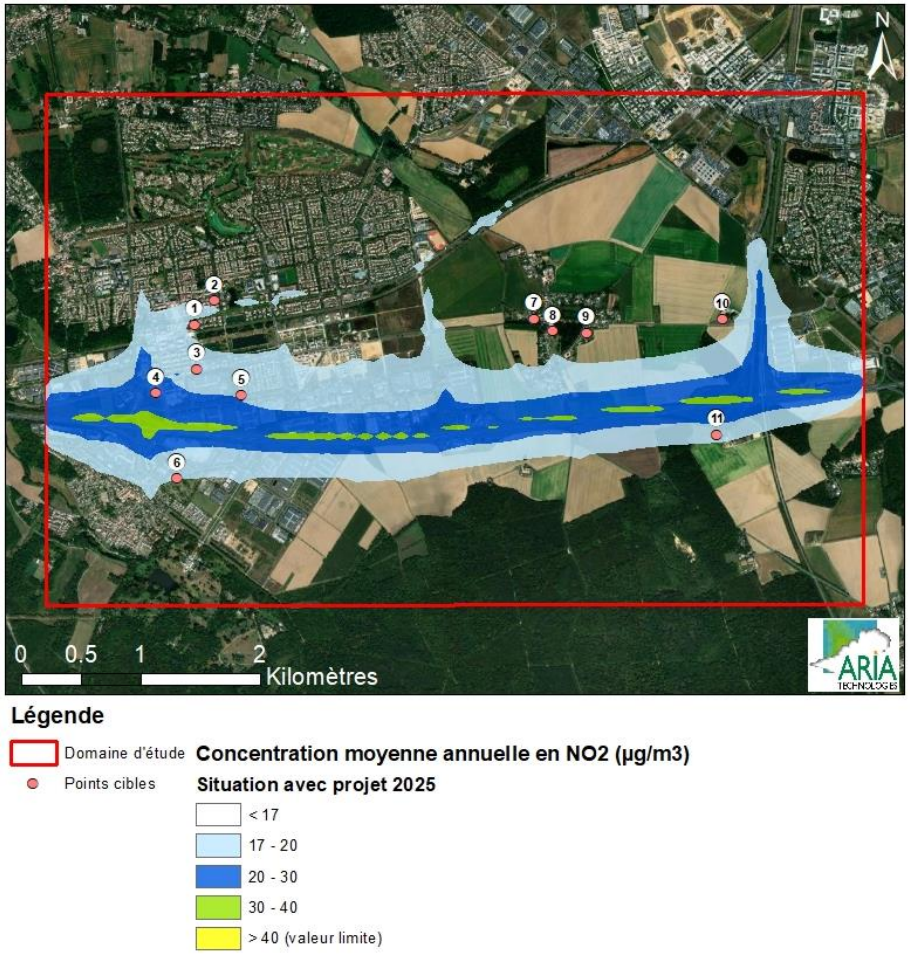


Figure 35 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – scénario avec projet, 2025



Les Figure 36 et Figure 37 présentent les cartographies des concentrations moyennes annuelles à 1 mètre du sol en dioxyde d'azote pour l'horizon 2035, situation « fil de l'eau » à gauche et avec projet, à droite.

Figure 36 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – « fil de l'eau », 2035

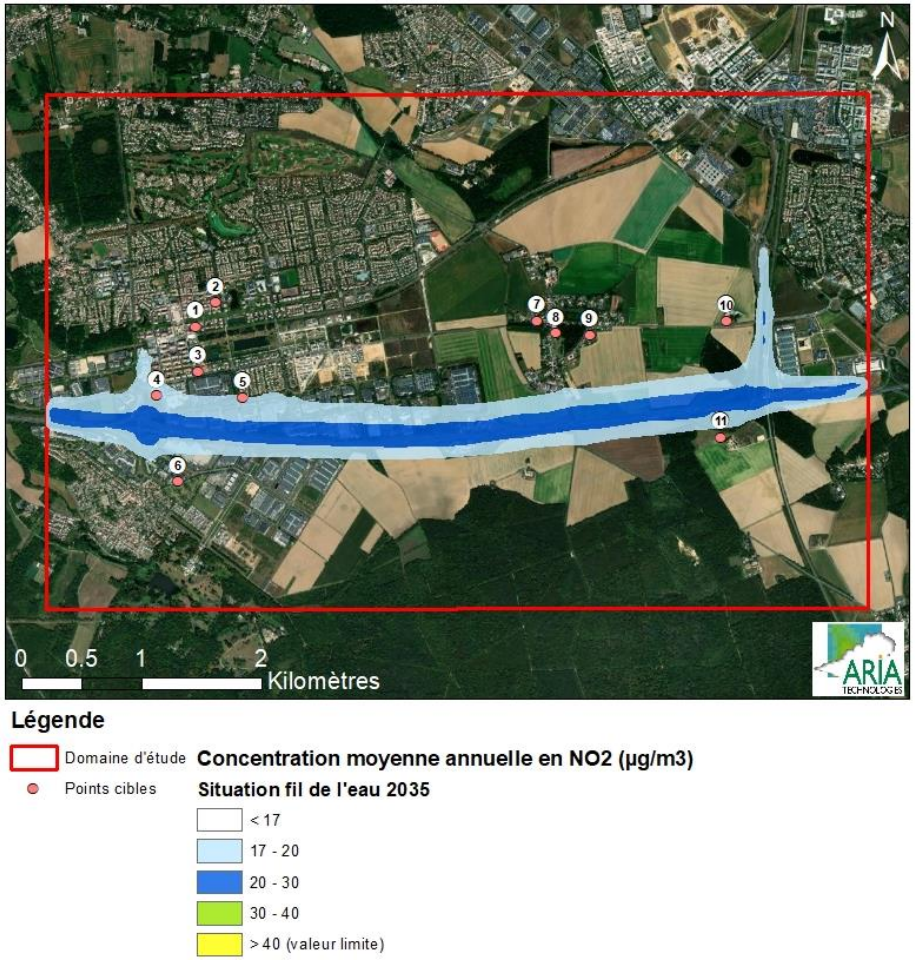
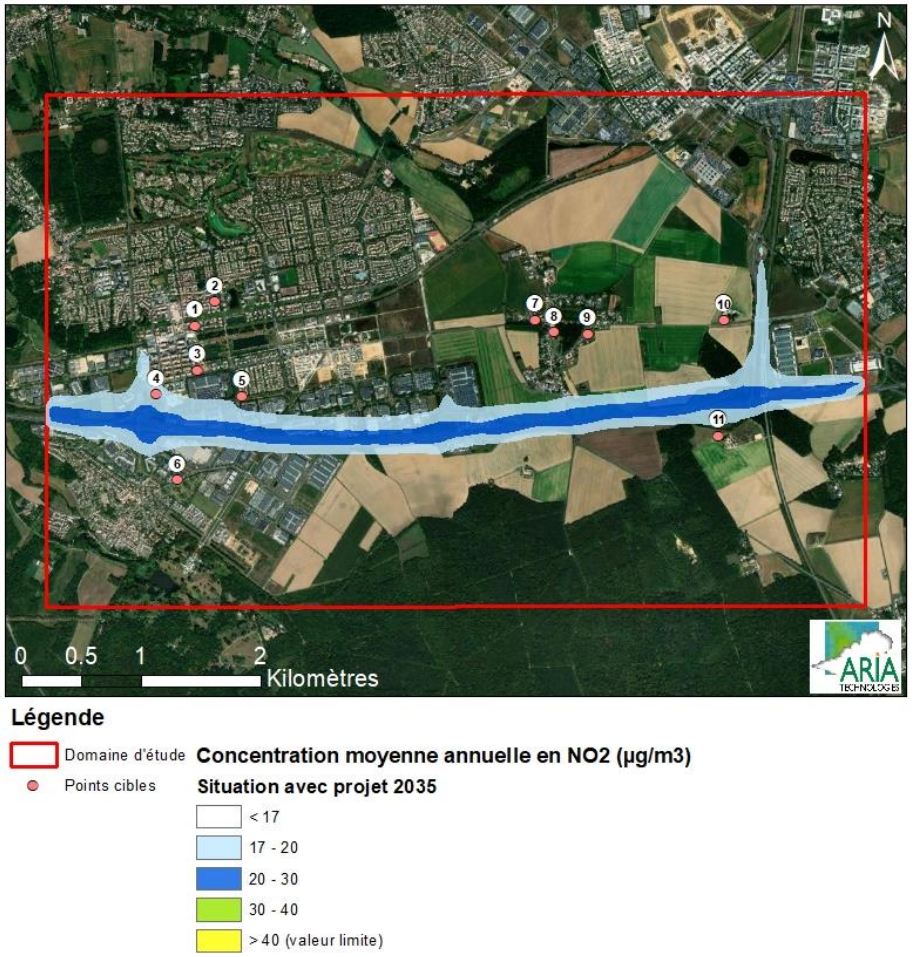


Figure 37 : carte de concentrations moyennes annuelles pour le NO_2 – scénario avec projet, 2035



5. IMPACT SUR LA SANTE

5.1 INDICE POLLUANT/POPULATION (IPP)

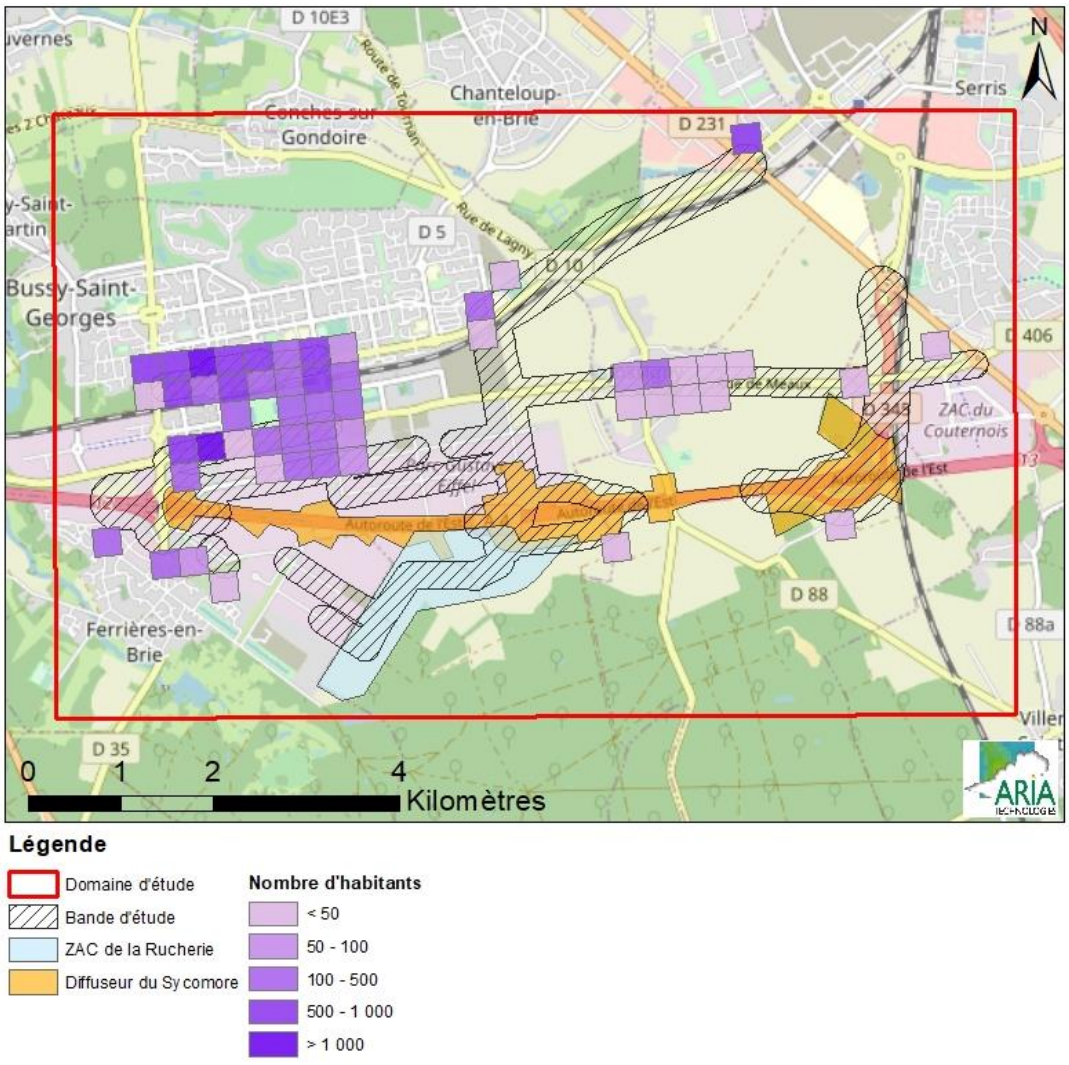
Afin d'évaluer l'impact du projet sur la santé, la méthode préconisée par le guide méthodologique du Cerema de février 2019 consiste à croiser les concentrations calculées et les données de population. Le produit "Population × Concentration" fournit ainsi un indicateur sanitaire, appelé également « Indice Pollution / Population : IPP ». Il est calculé pour le dioxyde d'azote, conformément à la note technique du 22 février 2019.

5.1.1 Méthodologie

L'IPP est calculé de la manière suivante : à partir des résultats de la modélisation (cf. paragraphe 4.3), la concentration moyenne est calculée par maille de 200 mètres (maillage carroyé de l'INSEE) et est multipliée par la population estimée par l'INSEE dans cette maille. Les données de population proviennent des données carroyées INSEE (année 2015, la plus récente disponible au moment de la rédaction du document).

La Figure 38 présente la répartition de la population par maille de 200 mètres. Seules les mailles inclues totalement ou en partie dans la bande d'étude sont prises en compte pour le calcul de l'IPP.

Figure 38 : population par maille de 200m – situation initiale 2019 (source : INSEE, 2015)

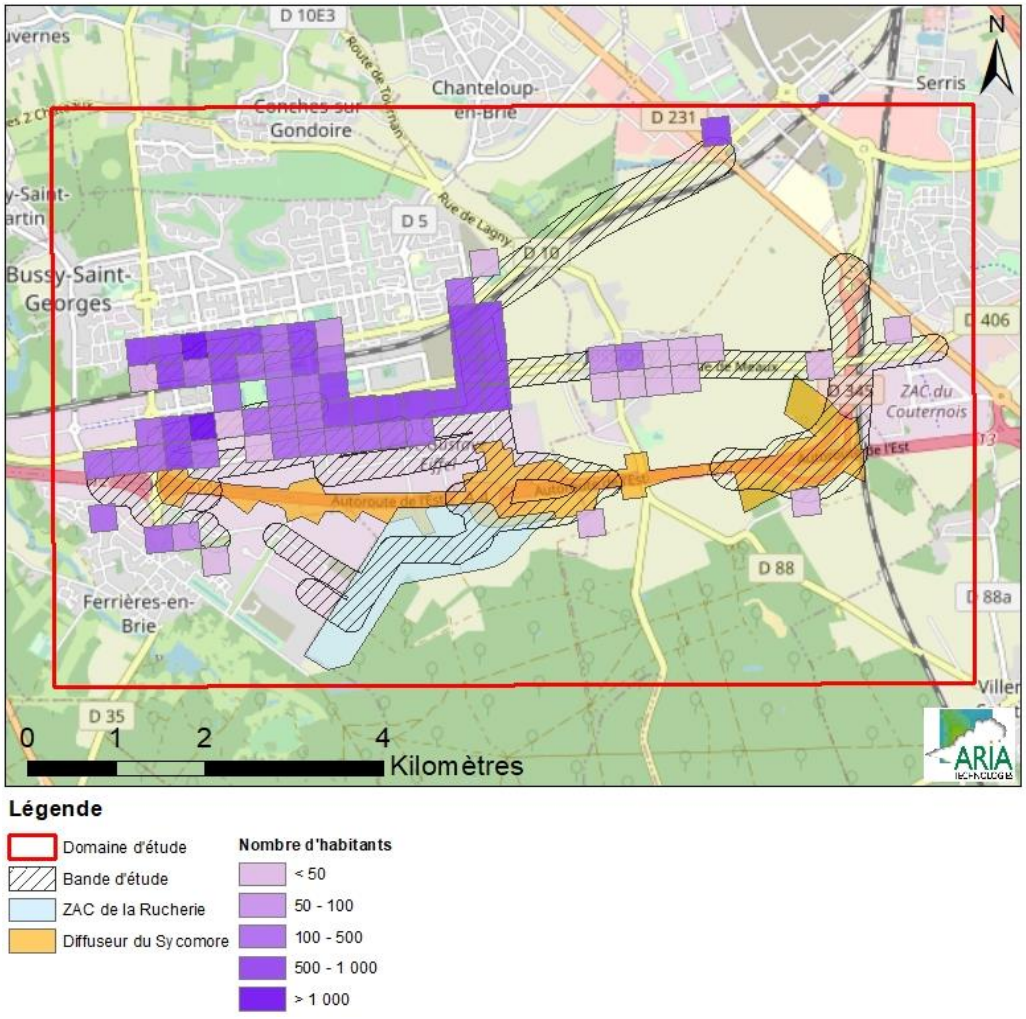


Aux horizons futurs 2025 et 2035, le projet de ZAC de la Rucherie ne prévoit pas de création de nouveaux logements. Cependant, les populations liées aux futurs projets d'aménagement suivants ont été prises en compte :

- la création du quartier du Sycomore composé de 4 500 logements. Ce quartier est situé au nord de l'A4, à proximité du projet de diffuseur[14],
- le projet à l'entrée de ville de Bussy-Saint-Georges : C'est un nouveau quartier prévoyant 1 500 logements qui viendra remplacer, à l'horizon 2025, les espaces non bâtis qui bordent actuellement les trois ronds-points, à l'entrée de Bussy Saint-Georges, et le linéaire qui longe l'autoroute d'est en ouest[15].

La Figure 39 présente la répartition de la population par maille de 200 mètres pour les horizons 2025 et 2035. Seules les mailles inclues totalement ou en partie dans la bande d'étude sont prises en compte pour le calcul de l'IPP.

Figure 39 : population par maille de 200m – horizons 2025 et 2035



[14] Source : https://www.epamarne-epafrance.fr/projet/le-sycomore-un-des-plus-grands-ecoquartier-de-france/

[15] https://www.epamarne-epafrance.fr/projet/bussy-saint-georges-l-entree-de-ville/

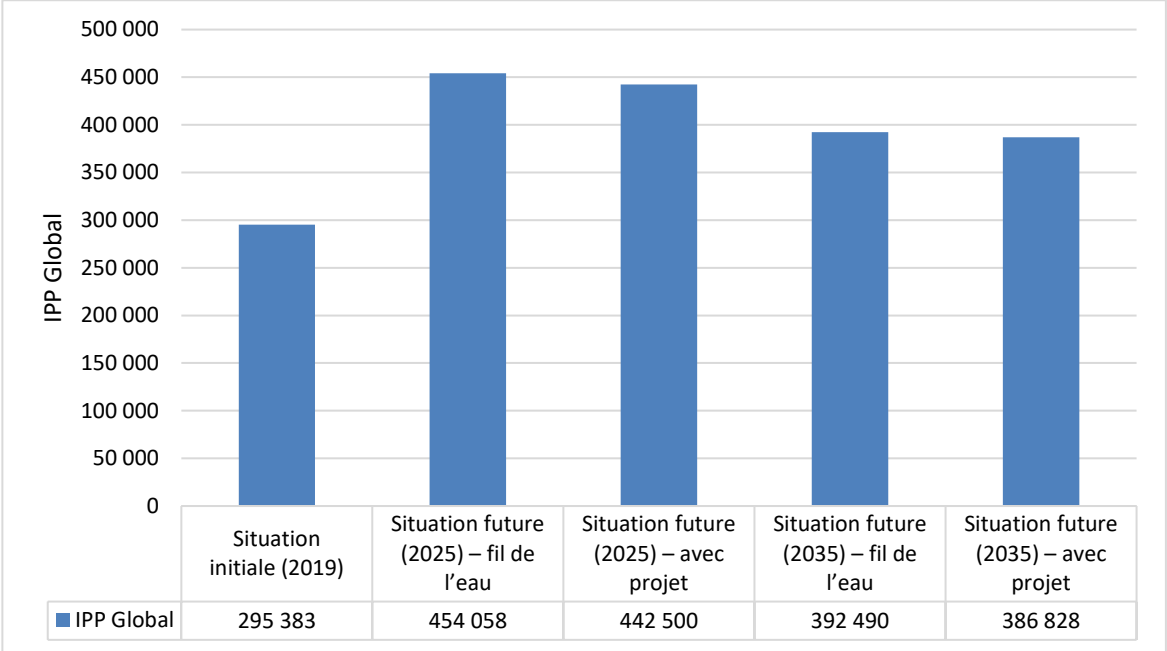
5.1.2 Résultats

5.1.2.1 Synthèse

Le calcul de l'IPP est réalisé en prenant en compte le bruit de fond (cf. paragraphe 4.3.1.1) à savoir 14,1 µg/m^3 pour la situation initiale et 13,1 µg/m^3 pour les situations futures. Les produits « concentration × population » les plus forts correspondent plus particulièrement aux zones où la densité de population est la plus élevée et où les concentrations calculées sont les plus importantes.

La Figure 40, ci-après, présente l'IPP global qui correspond à la somme des IPP sur l'ensemble de la bande d'étude.

Figure 40 : IPP global pour le NO_2 dans la bande d'étude



	Situation initiale (2019)	Situation future (2025) – fil de l'eau	Situation future (2025) – avec projet	Situation future (2035) – fil de l'eau	Situation future (2035) – avec projet
IPP Global	295 383	454 058	442 500	392 490	386 828

Malgré une baisse des concentrations entre la situation initiale et les scénarios « fil de l'eau » aux horizons 2025 et 2035, l'IPP global augmente de +30% à +50%. Les futurs projets d'aménagement prévus sur la zone (quartier du Sycomore et projet à l'entrée de la ville de Bussy-Saint-Georges) apportent de nouveaux habitants qui expliquent l'augmentation de l'IPP aux horizons futurs.

Aux horizons futurs, l'IPP global diminue de -2,5% entre la situation fil de l'eau et la situation avec projet à l'horizon 2025, et de -1,4% à l'horizon 2035 conformément à la baisse des concentrations.

5.1.2.2 Histogramme de distribution

Conformément à la note technique du 22 février 2019, à partir des résultats de concentrations issues du modèle de dispersion et des populations par maille obtenus pour chaque scénario, on détermine un **histogramme de distribution** par classes de valeurs de concentrations, en sommant, pour chaque plage entre deux valeurs de concentrations (les bornes de la plage), l'ensemble des populations associées à cette plage. Les plages de concentration représentées sur les histogrammes tiennent compte du bruit de fond.

La Figure 41 (ci-dessous) présente l'histogramme de distribution concentrations/population et le Tableau 18 (ci-après) présente le pourcentage de la population exposée à chaque tranche de concentrations dans la bande d'étude.

Figure 41 : histogramme de distribution concentration/population dans la bande d'étude

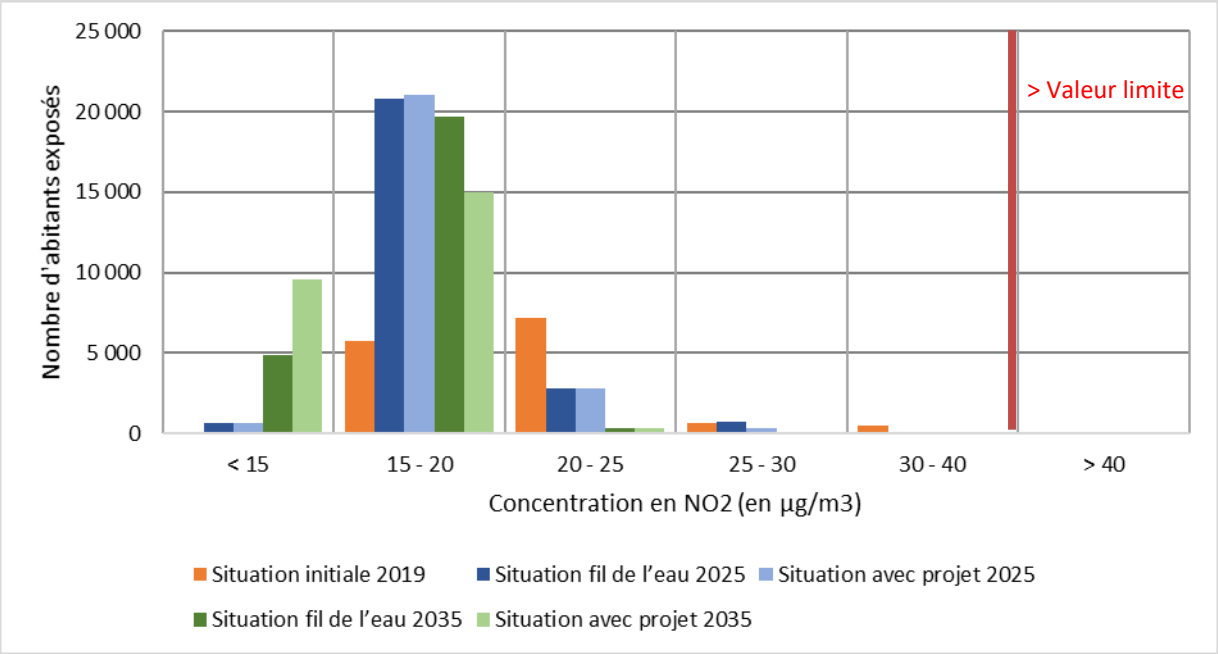


Tableau 18 : pourcentage de la population exposée à chaque tranche de concentrations

	% de la population exposée				
Classe de concentrations en NO_2	Situation initiale 2019	Situation fil de l'eau 2025	Situation avec projet 2025	Situation fil de l'eau 2035	Situation avec projet 2035
< 15	0.0%	2.7%	2.7%	19.4%	38.5%
15 - 20	41.0%	83.4%	84.5%	79.2%	60.1%
20 - 25	51.0%	11.1%	11.4%	1.4%	1.4%
25 - 30	4.6%	2.8%	1.4%	0.0%	0.0%
30 - 40	3.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
> 40 (valeur limite)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

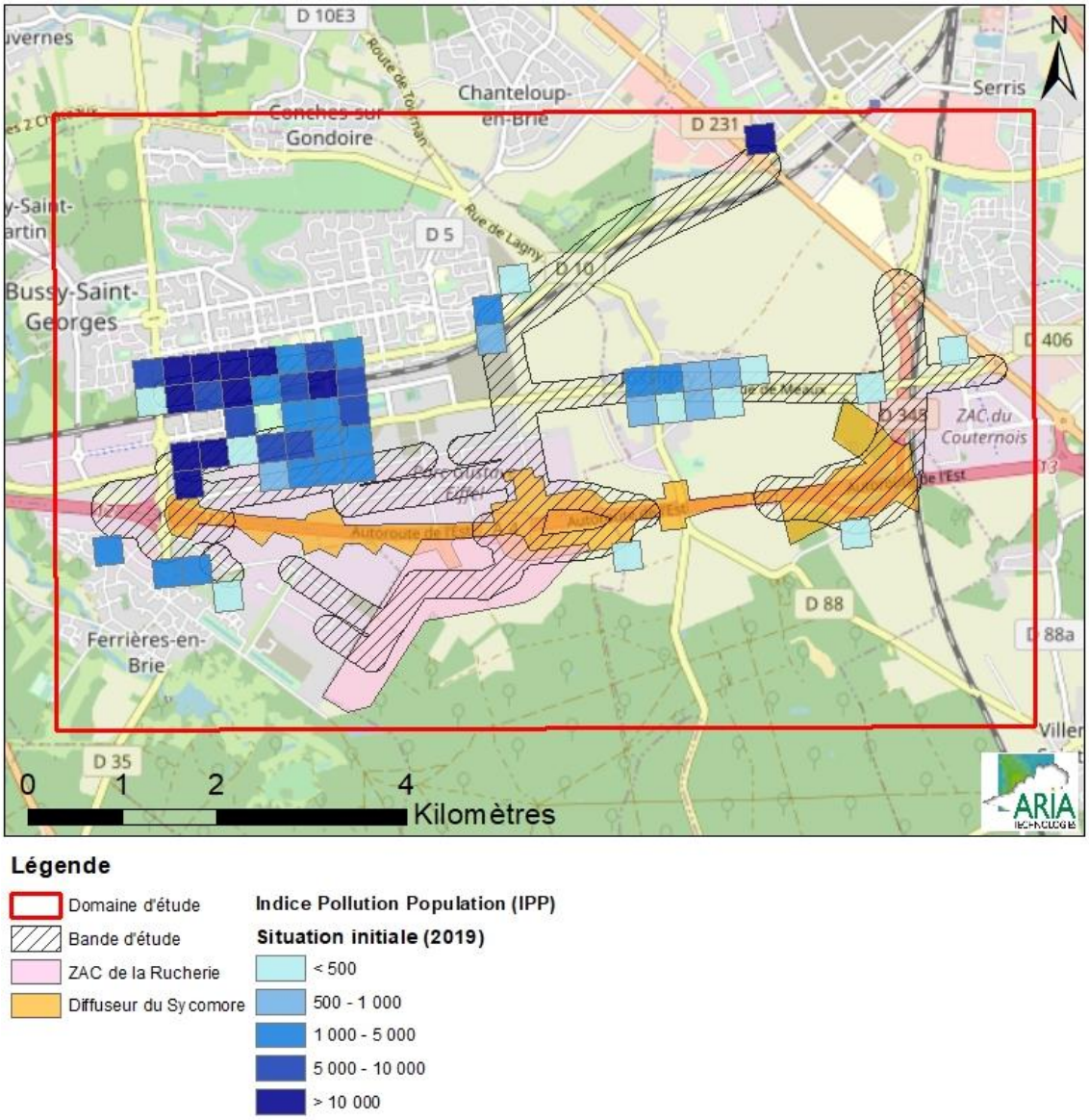
Pour les 5 scénarios, l'ensemble de la population est exposé à des concentrations inférieures à la valeur limite fixée pour le NO_2 (40 µg/m^3).

La situation initiale est la seule qui expose les populations résidentes dans la bande d'étude à des concentrations supérieures à 30 µg/m^3. En 2025, toutes les populations sont exposées à des concentrations inférieures à 30 µg/m^3, et en 2035, les concentrations au niveau des habitations restent inférieures à 25 µg/m^3.

A l'horizon 2035, la mise en place des projets entraînent une exposition des populations résidentes dans la bande d'étude à des concentrations en NO_2 plus faibles qu'à l'horizon fil de l'eau.

La Figure 42 présente la cartographie des résultats des IPP concernant la situation initiale (2019).

Figure 42 : carte IPP dans la bande d'étude – état initial (2019)



Les Figure 43 et Figure 44 présentent les cartographies des résultats des IPP pour les situations « fil de l'eau » et avec projet à l'horizon 2025.

Figure 43 : carte IPP dans la bande d'étude – état fil de l'eau (2025)

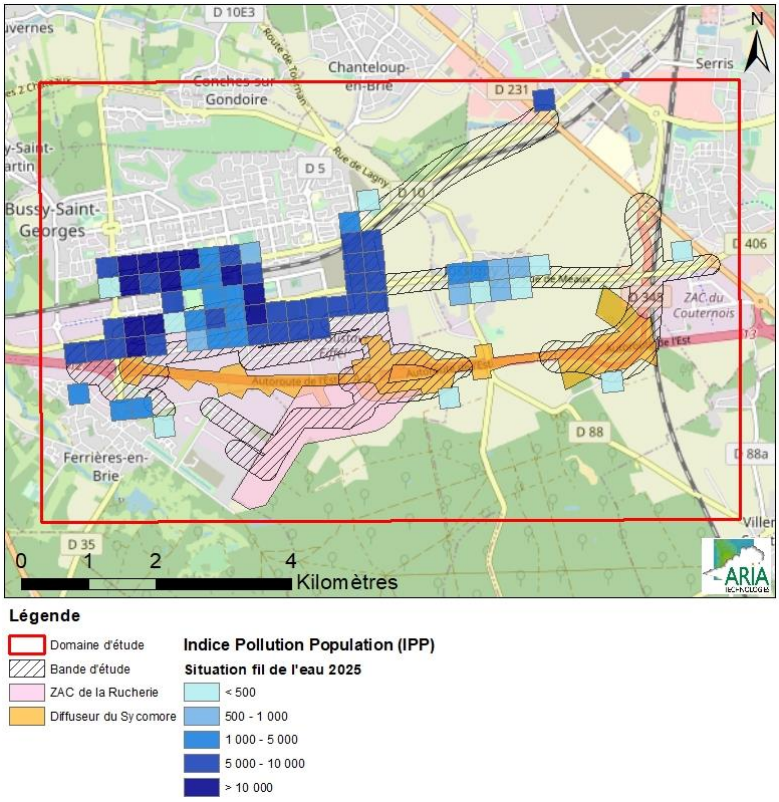
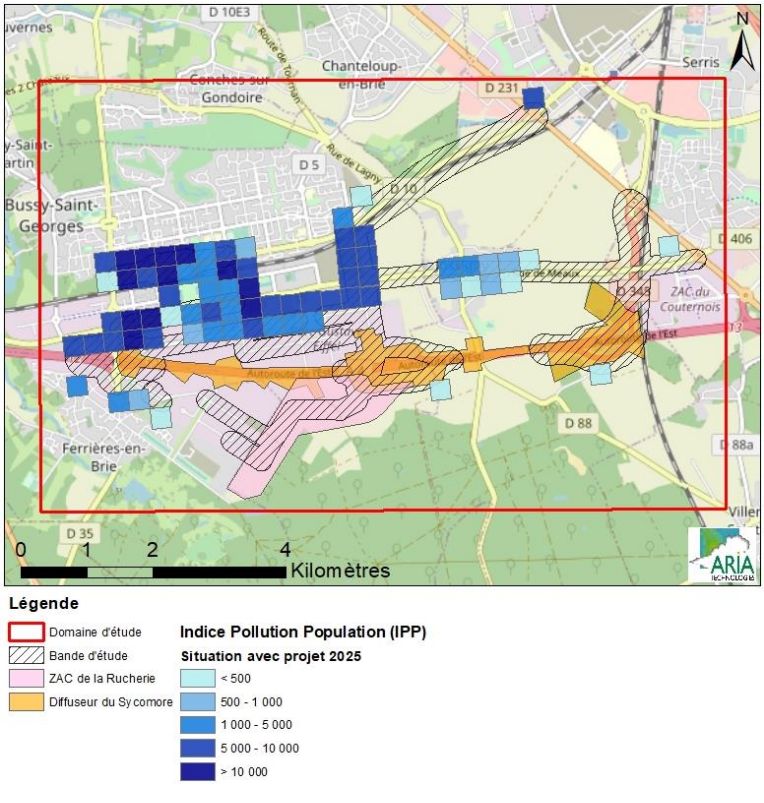


Figure 44 : carte IPP – état avec projet (2025)



Les Figure 45 et Figure 46 présentent les cartographies des résultats des IPP pour les situations « fil de l'eau » et avec projet à l'horizon 2035.

Figure 45 : carte IPP dans la bande d'étude – état fil de l'eau (2035)

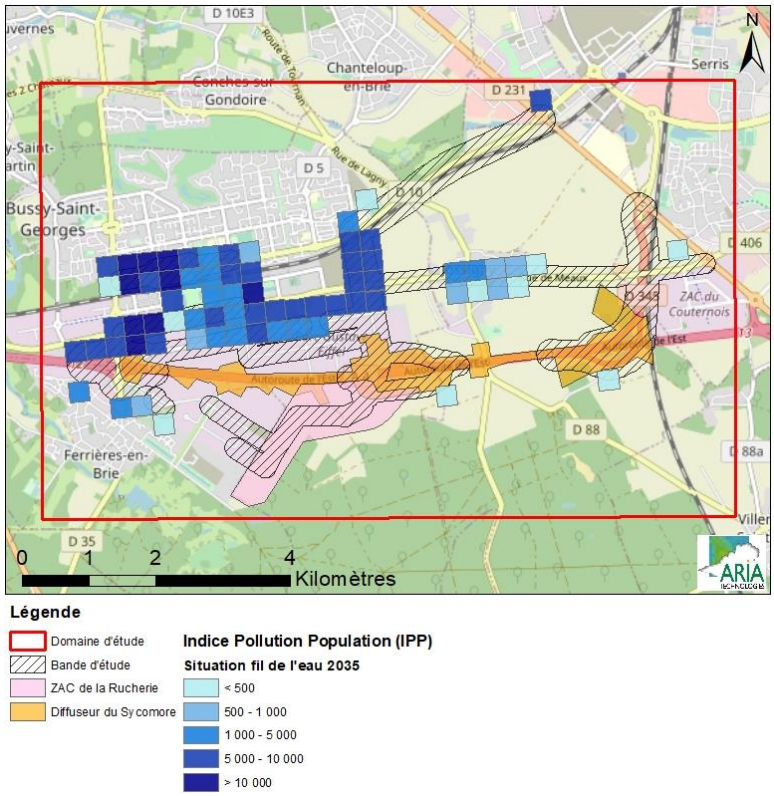
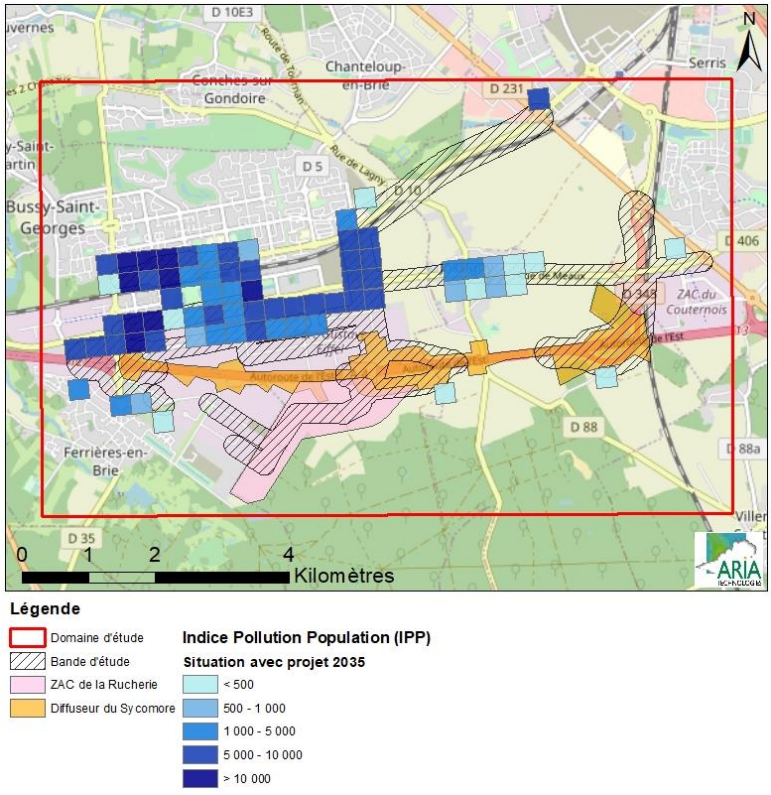


Figure 46 : carte IPP – état avec projet (2035)



5.2 EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

Conformément à l'annexe de la note technique TRET1833075N du 22/02/2019, l'évaluation quantitative des risques sanitaires est réalisée pour tous les scénarios à savoir :

- Situation Initiale 2019 ;
- Situation de référence 2025 ;
- Situation projet 2025 ;
- Situation de référence 2035 ;
- Situation projet 2035.

5.2.1 Démarche

L'évaluation sera menée conformément au guide « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013.

Elle se déroule en quatre étapes successives :

1. **Identification des dangers :** sélection des substances pouvant a priori avoir un impact sur la santé des populations, en fonction de critères bien précis ;
2. **Définition des relations dose-réponse :** détermination du profil toxicologique de la substance et sélection des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ;
3. **Evaluation de l'exposition humaine :** calcul des concentrations de substances inhalées et ingérées ;
4. **Caractérisation des risques :** calcul du risque auquel la population est susceptible d'être soumise.

5.2.2 Choix des traceurs de risque et identification des dangers

5.2.2.1 Choix des traceurs de risque

Les substances prises en compte dans l'ERS sont celles retenues par l'annexe de la note technique TRET1833075N du 22/02/2019 :

Exposition chronique	**Voie respiratoire**	Particules (PM10 et PM2,5) Dioxyde d'azote Benzène 1,3-butadiène Chrome VI Nickel Arsenic 16 HAP* dont le benzo(a)pyrène
	Voie orale	16 HAP* dont le benzo(a)pyrène
Exposition aigue	**Voie respiratoire**	Particules (PM10 et PM2,5) Dioxyde d'azote

** Liste des HAP prioritaires définie par l'US EPA : acénaphtène, acénaphtylène, anthracène, benzo(a)anthracène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, chrysène, dibenzo(a,h)anthracène, fluorène, fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, phénanthrène, pyrène et benzo(j)fluoranthène.*

Le Tableau 19 présente les substances retenues et leur impact sur la santé et l'environnement.

Tableau 19 : substances retenues et impact sur la santé

Substances	Sources (parts des émissions en France, année 2018*)	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
NOx et NO_2	Transports – 63 % Industrie (énergie et manufacturière) – 19 % Secteur résidentiel et tertiaire – 11 % Agriculture – 7 %	A court terme : irritations des bronches et aggravations de maladies respiratoires (asthme) A long terme : développement de maladies respiratoires ou cardiovasculaires, faible poids du nourrisson et risque accru de décès.	Les NOx participent au phénomène des pluies acides appauvrissant les milieux naturels et contribuent à la formation de l'ozone troposphérique.
PM10 et PM2.5 (particules inférieures à 10 µm et 2,5 µm)	Secteur résidentiel et tertiaire – 34 % des PM10, 53 % des PM2.5 Industrie (énergie et manufacturière) – 27 % des PM10, 19 % des PM2.5 Agriculture – 24 % des PM10, 10 % des PM2.5 Transports – 15 % des PM10, 18 % des PM2.5	Les PM10 et PM2.5 entrainent une altération de la santé respiratoire. Les PM2.5 engendrent en plus une altération de la santé cardiovasculaire. Ces particules peuvent entrainer des cancers pulmonaires et une atteinte au développement neurologique de l'enfant.	Les PM10 et PM2.5 engendrent des dégradations et salissures sur les monuments/bâtiments. Ils absorbent et diffusent la lumière limitant ainsi la visibilité.
CO	Secteur résidentiel et tertiaire – 44 % Industrie (énergie et manufacturière) – 34 % Transports – 17 % Agriculture – 5 %	Le CO se fixe sur l'hémoglobine et prive l'organisme d'oxygène. Il entraine des maux de têtes, des vertiges, voire des nausées et vomissements. En cas d'exposition prolongée, il peut entrainer un coma et la mort.	Le CO participe à l'acidification de l'air, des sols et des cours d'eau. Il participe à la formation de l'ozone troposphérique et influence l'effet de serre.
COVNM (dont le benzène et le 1,3 butadiène)	Secteur résidentiel et tertiaire – 45 % Industrie (énergie et manufacturière) – 41 % Transports – 11 % Agriculture – 2 % Déchets – 1 %	Les effets sont divers selon les polluants et l'exposition. Ils vont de la simple gêne olfactive et une irritation, à une diminution de la capacité respiratoire et des troubles cardiaques, digestifs, rénaux et nerveux. Le benzène et le 1,3 butadiène sont classés cancérigène pour l'homme par le CIRC.	Les COVNM participent au phénomène des pluies acides appauvrissant les milieux naturels et contribuent à la formation de l'ozone troposphérique.
SO_2	Industrie (énergie et manufacturière) – 79 % Secteur résidentiel et tertiaire – 18 % Transports – 2 % Agriculture – 1 %	Le SO_2 entraine une irritation des yeux et des voies respiratoires (toux, gêne respiratoire, asthme).	En présence d'eau, le dioxyde de soufre forme de l'acide sulfurique qui contribue au phénomène des pluies acides et à la dégradation de la pierre et des matériaux de certaines constructions. C'est un gaz à effet de serre indirect avec un effet refroidissant par sa composante sulfate.

Substances	Sources (parts des émissions en France, année 2018*)	Effets sur la santé	Effets sur l'environnement
Arsenic	Industrie (énergie et manufacturière) – 49 % Secteur résidentiel et tertiaire – 22 % Transports – 27 % Agriculture – 2 %	L'arsenic provoque une irritation de l'estomac, des intestins et des poumons, une diminution de la production des globules blancs et rouges et des problèmes de peau. Il est classé cancérigène pour l'homme par le CIRC.	L'arsenic s'accumule dans la faune et la flore et entraine une mauvaise croissance des espèces et leur incapacité à se reproduire.
Nickel	Industrie (énergie et manufacturière) – 61 % Secteur résidentiel et tertiaire – 29 % Transports – 7 % Agriculture – 2 % Déchets – 1 %	Le nickel provoque des nausées, vomissements et vertiges. Il peut entrainer des embolies pulmonaires, de l'asthme et des problèmes cardiaques. Il est classé cancérigène possible pour l'homme par le CIRC.	Le nickel peut endommager les plantes et diminuer le taux de croissance des algues. Il peut également provoquer des cancers chez les animaux.
Chrome VI	Industrie (énergie et manufacturière) – 61 % Secteur résidentiel et tertiaire – 27 % Transports – 10 % Agriculture – 2 %	Le chrome VI peut provoquer des éruptions cutanées, des irritations nasales, des problèmes respiratoires, des ulcères et une altération du matériel génétique. Il est classé cancérigène pour l'homme par le CIRC.	Chez les animaux, le chrome VI peut provoquer des problèmes respiratoires, une capacité plus faible à lutter contre les maladies, des défauts de naissance, une infertilité ou la formation de tumeurs.
HAP (dont le benzo(a)pyrène)	Secteur résidentiel et tertiaire – 61 % Transports – 15 % Industrie (énergie et manufacturière) – 14 % Agriculture – 10 %	Selon leur nature, les HAP peuvent avoir différents effets, allant de nuisances olfactives et d'irritations à des problèmes respiratoires. Le benzo(a)pyrène est classé cancérigène pour l'homme par le CIRC.	Les HAP s'accumulent dans la faune et la flore par dépôts sur les végétaux et contamination des eaux de surface, provoquant des dysfonctionnements cellulaires.

** Données issues du rapport « Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques – Bilan des émissions en France de 1990 à 2018 », CITEPA, juin 2020.*

5.2.2.2 Identification des dangers

L'étape d'identification des dangers présente la toxicité des composés émis par les installations. Il est rapporté les effets sur la santé et en particulier le risque cancérigène et les différentes voies d'exposition.

Les substances chimiques sont susceptibles de provoquer des effets aigus liés à des expositions courtes à des doses généralement élevées, et des effets subchroniques et chroniques susceptibles d'apparaître suite à une exposition prolongée à des doses plus faibles.

A partir de données trouvées dans la littérature, le Tableau 21 présente, pour l'ensemble des composés inventoriés, les voies d'exposition principales, les dangers possibles, ainsi que la classification du caractère cancérigène pour l'OMS/CIRC, l'EPA et l'Union Européenne. Le Tableau 20 rappelle la définition des différentes classifications.

Tableau 20 : classifications CIRC, US-EPA et Union Européenne pour les effets cancérigènes

<table>
<tr><th>CIRC - OMS</th><th>US EPA</th><th>Union Européenne</th></tr>
<tr><td>1 : cancérogènes pour l'homme</td><td>A : cancérogènes pour l'homme (preuves suffisantes chez l'homme)</td><td>1A : Substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est avéré.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2A : cancérogènes probables pour l'homme (preuves limitées chez l'homme, suffisantes chez l'animal)</td><td>B1 : cancérogènes probable pour l'homme (preuves limitées chez l'homme)</td><td rowspan="3">1B : Substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé.</td></tr>
<tr><td>B2 : cancérogènes probable pour l'homme (preuves non adéquates chez l'homme, suffisantes chez l'animal)</td></tr>
<tr><td>2B : cancérogènes possibles pour l'homme (preuves insuffisantes chez l'homme, suffisantes ou limitées chez l'animal)</td><td>C : cancérogènes possibles pour l'homme (preuves non adéquates chez l'homme et limitées chez l'animal)</td></tr>
<tr><td>3 : non classable pour sa cancérogénicité pour l'homme</td><td>D : non classable pour sa cancérogénicité pour l'homme (preuves insuffisantes chez l'homme et chez l'animal)</td><td rowspan="2">2 : Substances suspectées d'être cancérogènes pour l'homme</td></tr>
<tr><td>4 : absence connue d'effets cancérogènes chez l'homme et chez l'animal</td><td>E : absence connue d'effets cancérogènes chez l'homme et chez l'animal</td></tr>
</table>

Tableau 21 : identification des dangers par substances

Nom	N°CAS	Effets/Organes cibles	Voies d'exposition principales	Cancérogénicité		
				CIRC	EPA	UE
Dioxyde d'azote (NO_2)	10102-44-0	Système respiratoire	Inhalation	-	-	-
Poussières	nd	Système respiratoire	Inhalation	-	-	-
1,3 butadiène	106-99-0	Reproduction	Inhalation	1	-	1A/1B
Benzène	71-43-2	Système sanguin et immunitaire	Inhalation	1	A	1A
Chrome VI	7440-47-3	Système respiratoire, estomac OUI	Inhalation	1	A (inh.) D (ing.)	1
Nickel	7440-02-0	Système respiratoire, développement	Inhalation	2B	Ni_3S_2 : A	2
Arsenic	7440-38-2	Développement, Système nerveux, Poumons, peau	Inhalation	1	A	1*
HAP						
Acénaphtène	83-32-9	Système digestive	Ingestion	3		
Acénapthylène	208-96-8	-	-			
Anthracène	120-12-7	-	Ingestion	3		
Benzo(a)anthracène	56-55-3		Ingestion	2B		
Benzo(a)pyrène	50-32-8	Développement	Inhalation /Ingestion	1	A	1B
Benzo(b)fluoranthène	205-99-2		Ingestion	2B		1B
Benzo(g,h,i)pérylène	191-24-2		Ingestion	3		
Benzo(j) fluoranthène	205-82-3			1B		
Benzo(k)fluoranthène	207-08-9		Ingestion	2B		1B
Chrysène	218-01-9		Ingestion	2B		
Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3		Ingestion	2A		1B
Fluoranthène	206-44-0	Système sanguin	Ingestion	3		
Fluorène	86-73-7	Système sanguin	Ingestion	3		
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	193-39-5		Ingestion	2B		
Naphtalène	91-20-3	Développement	Ingestion	2B		
Phénanthrène	85-01-8	Développement	Ingestion	3		
Pyrène	129-00-0	Rein	Ingestion	3		

5.2.3 Voie d'exposition retenue

L'exposition des personnes vivant au voisinage d'une source d'effluents dans l'atmosphère peut se produire :

- soit directement par inhalation pour toutes les substances émises à l'atmosphère ;
- soit de façon indirecte par ingestion par le biais de retombées de particules responsables de la contamination de la chaîne alimentaire ;
- soit par contact cutané.

La voie d'exposition à considérer en premier lieu est l'inhalation des substances émises à l'atmosphère.

En ce qui concerne la voie cutanée, elle ne sera pas conservée. Elle peut être en effet considérée comme négligeable par rapport à l'inhalation et l'ingestion. De plus, il n'existe pas de valeur toxicologique de référence (VTR) pour cette voie d'exposition[16].

Compte tenu de la présence de jardins et de zones de maraîchage, l'exposition par ingestion sera retenue pour certains scénarios d'exposition (cf. paragraphe 5.2.5.1).

5.2.4 Etude des relations dose-réponse et choix des VTRs

5.2.4.1.1 Définitions

La définition des relations dose-réponse consiste à recueillir dans la littérature l'ensemble des valeurs établissant une relation entre une dose d'exposition et les effets (ou probabilités d'effets) observés.

Ces relations dose-réponse regroupées sous le terme de valeur toxicologique de référence (VTR) permettent de caractériser deux mécanismes d'action des toxiques :

- les toxiques à effets à seuil pour lesquels il existe des valeurs toxicologiques de référence en dessous desquelles l'exposition est réputée sans risque et dont la gravité des effets est proportionnelle à la dose.
- les toxiques à effets sans seuil tels que les cancérigènes génotoxiques pour lesquels il n'est pas possible de définir un niveau d'exposition sans risque pour la population. Pour ces produits, des excès unitaires de risque (ERU) ont été définis. Ils correspondent à la probabilité supplémentaire de survenue de cancer dans une population exposée à 1 µg/m^3 (durant toute sa vie et 24h/24) par rapport à la probabilité de cancer dans une population non exposée. Un ERU à 10^{-5} signifie qu'une personne exposée durant toute sa vie à 1 µg/m^3 aurait une probabilité supplémentaire par rapport au risque de base de 0,00001 de contracter un cancer ou bien, en d'autres termes, que si 100 000 personnes sont exposées, 1 cas de cancer supplémentaire est susceptible d'apparaître. Il n'existe pas de valeur seuil sans risque pour les composés à effets sans seuil.

[16] La note d'information de la DGS du 31 octobre 2014 précise en effet qu'« en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, ils [les pétitionnaires] ne doivent envisager aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ».

5.2.4.1.2 Critères de choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

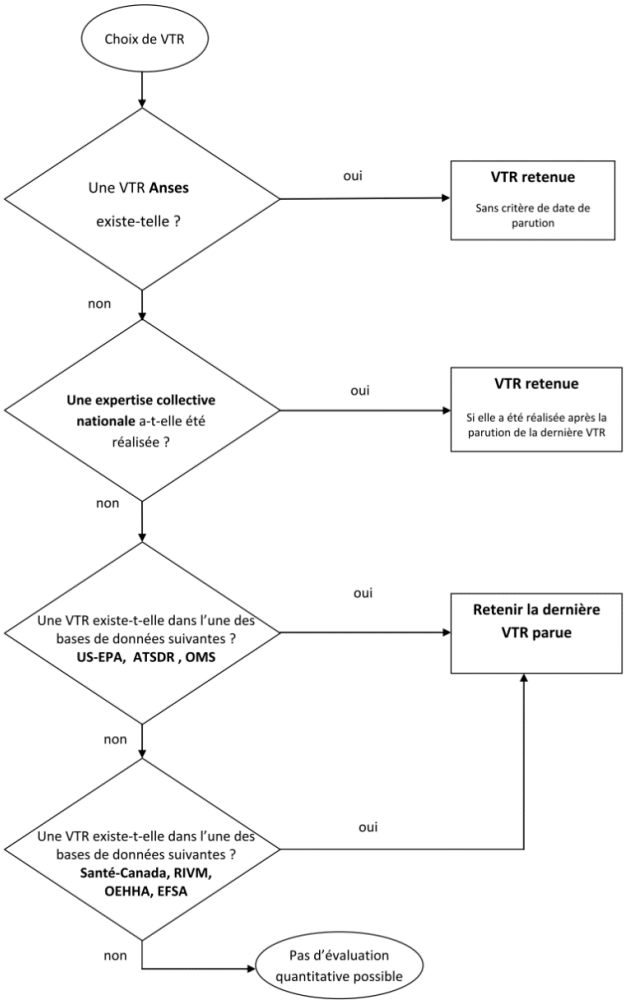
Pour chaque substance sélectionnée précédemment, des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ont été recherchées auprès des différentes instances internationales suivantes :

- Agence Nationale de SEcurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)
- Environmental Protection Agency (US-EPA)
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS/IPCS)
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR)
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA)
- Santé Canada (Health Canada)
- National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)
- European Food Safety Authority (EFSA)

Dans l'objectif de simplifier les modalités de sélection des VTR et par la même la vérification des dossiers par les services de l'Etat, la Direction Générale de la Santé a demandé, par une note d'information (DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014), de sélectionner la VTR en suivant le logigramme de la Figure 47 lorsqu'il existe plusieurs VTR pour une voie et une durée d'exposition.

Nous appliquerons ces modalités dans le choix des VTR dans le présent rapport.

Figure 47 : logigramme pour le choix des VTR (DGS)



5.2.4.1.3 Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

A partir des VTR disponibles dans la littérature consultée, les Tableau 25 et Tableau 26 résument les VTR retenues pour cette étude. Les VTR par ingestion ont été recherchées uniquement pour les HAP, seules substances retenues par le guide du Cerema pour une exposition par voie orale.

NO_2 et poussières (PM_{10}, $PM_{2,5}$) : la littérature ne fournit pas de VTR pour ces substances, il n'existe que des valeurs guides de l'OMS. Comme le rappelle la note d'information de la DGS (octobre 2014), l'évaluateur doit s'abstenir d'utiliser des valeurs guides de qualité des milieux. Ces substances ne sont donc pas retenues comme traceur de risque. Seules les concentrations dans l'air sont comparées aux valeurs recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé. Le Tableau 23 présente les valeurs guides retenues pour les poussières (PM_{10}, $PM_{2,5}$), et le NO_2 en l'absence de VTR.

HAP :

- **pour le risque à seuil lié aux HAP**, seul le B(a)P possède une VTR ;
- **pour le risque sans seuil lié aux HAP (risque cancérigène)**, il existe une VTR par inhalation uniquement pour le B(a)P. C'est en effet sur le BaP que portent les données toxicologiques les plus importantes. Pour les HAP classés cancérigènes par le CIRC ou l'US-EPA, à l'exclusion du naphtalène, l'INERIS[17] conseille d'utiliser l'approche substance par substance. Cette approche consiste à appliquer les FET (facteurs d'équivalences toxiques qui expriment la toxicité de chaque HAP par rapport à celle du BaP) sur les doses d'exposition calculées par inhalation pour chaque HAP, puis d'utiliser l'Excès de Risque Unitaire (ERU) par inhalation disponible pour le benzo(a)pyrène pour l'évaluation du risque sanitaire. Les FET retenus dans ce rapport sont ceux proposés par l'INERIS (Tableau 22).

Tableau 22 : facteur d'équivalent toxique pour les substances cancérigènes

HAP	FET INERIS
Acénaphtène	0.001
Acénaphthylène	0.001
Anthracène	0.01
Benz[a]anthracène	0.1
Benzo[a]pyrène	1
Benzo[b]fluoranthène	0.1
Benzo[g,h,i]perylène	0.01
Benzo[k]fluornathène	0.1
Benzo[j]fluornathène	0
Chrysène	0.01
Dibenz[a,h]anthracène	1
Fluoranthène	0.001
Fluorène	0.001
Indeno[1,2,3-cd]pyrène	0.1
Phénanthrène	0.001
Pyrène	0.001

[17] INERIS. Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP). Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance (facteurs d'équivalentce toxique – FET) et approche par mélanges. Evaluation de la relation dose-réponse pour des effets non cancérigènes : valeurs toxicologiques de référence (VTR). Rapport final. 18 décembre 2003. 64p., INERIS-DRC-03-47026-ETSC-BDo-N°03DR177.doc

Tableau 23 : valeurs guides pour les risques chroniques

Composé	Voie d'exposition	Valeurs guides	Source et Date	Organe cible / Effets critiques	Type d'étude
NO_2	Inhalation	40 µg/m^3 (valeur guide moyenne annuelle)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme
PM10	Inhalation	20 µg/m^3 (valeur guide moyenne annuelle)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme
$PM_{2.5}$	Inhalation	10 µg/m^3 (valeur guide moyenne annuelle)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme

Tableau 24 : valeurs guides pour les risques aigus

Composé	Voie d'exposition	Valeurs guides	Source et Date	Organe cible / Effets critiques	Type d'étude
NO_2	Inhalation	200 µg/m^3 (valeur guide moyenne horaire)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme
PM10	Inhalation	50 µg/m^3 (valeur guide moyenne journalière)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme
$PM_{2.5}$	Inhalation	25 µg/m^3 (valeur guide moyenne journalière)	OMS 2005	Système respiratoire	Homme

Tableau 25 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques à seuil

Substance	Voie d'exposition	Organe /Système cible	Effet(s) observé(s)	VTR		Référence	Année	Justification du choix
Benzo(a)pyrène	Inhalation	Développement	Développement embryonnaire	2.00E-03	µg/m^3	US-EPA	2017	Choix INERIS (2018)
	Ingestion	Système nerveux	Altérations neurocomportementales	0,0003	mg/kg/j	US-EPA	2017	Choix INERIS (2018)
Benzène	Inhalation	Système immunitaire	-	10	µg/m^3	ANSES	2008	VTR ANSES prioritaire
Arsenic	Inhalation	Développement, système nerveux, peau	Diminution des fonctions intellectuelles	0.015	µg/m^3	OEHHA	2008	Choix INERIS (2010)
Chrome VI	Inhalation (Cr VI)	Système respiratoire	-	0.03	µg/m^3	OMS/CIRC	2013	Choix INERIS (2017)
Nickel	Inhalation	Appareil respiratoire	Atteinte des épithéliums	0.23	µg/m^3	TCEQ	2011	Choix ANSES (2015)
1,3 butadiène	Inhalation	Effet sur la fertilité	-	2	µg/m^3	US-EPA	2002	Choix INERIS (2019)

Tableau 26 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques sans seuil

Substance	Voie d'exposition	ERU		Référence		Justification du choix
Benzo(a)pyrène	Inhalation	0.0006	$(\mu g/m^3)^{-1}$	US-EPA	2017	Choix INERIS (2018)
	Ingestion	1	$(mg/kg/j)^{-1}$	US-EPA	2017	Choix INERIS (2018)
Benzène	Inhalation	$2,6.10^{-5}$	$(\mu g/m^3)^{-1}$	ANSES	2013	VTR ANSES prioritaire
Arsenic	Inhalation	$1,5.10^{-4}$	$(\mu g/m^3)^{-1}$	TCEQ	2012	Choix ANSES (2015)
Chrome VI	Inhalation	0,04	$(\mu g/m^3)^{-1}$	OMS-IPCS	2013	Choix ANSES (2015)
Nickel	Inhalation	$1,7.10^{-4}$	$(\mu g/m^3)^{-1}$	TCEQ	2011	Choix ANSES (2015)
1,3 butadiène	Inhalation	$3,0.10^{-5}$	$(\mu g/m^3)^{-1}$	US-EPA	2002	Choix INERIS (2019)

5.2.5 Evaluation de l'exposition humaine

L'étude de dispersion (cf. paragraphe 4.3) a permis d'estimer les concentrations dans l'air pour les cinq situations prises en compte : situation initiale 2019, situation de référence 2025, situation projet 2025, situation de référence 2035 et situation projet 2035. Ces résultats serviront dans le cadre de cette étude pour estimer les expositions des populations.

5.2.5.1 Scénarios d'exposition retenus

L'évaluation de l'exposition humaine sera réalisée pour quatre scénarios d'exposition exposés ci-dessous.

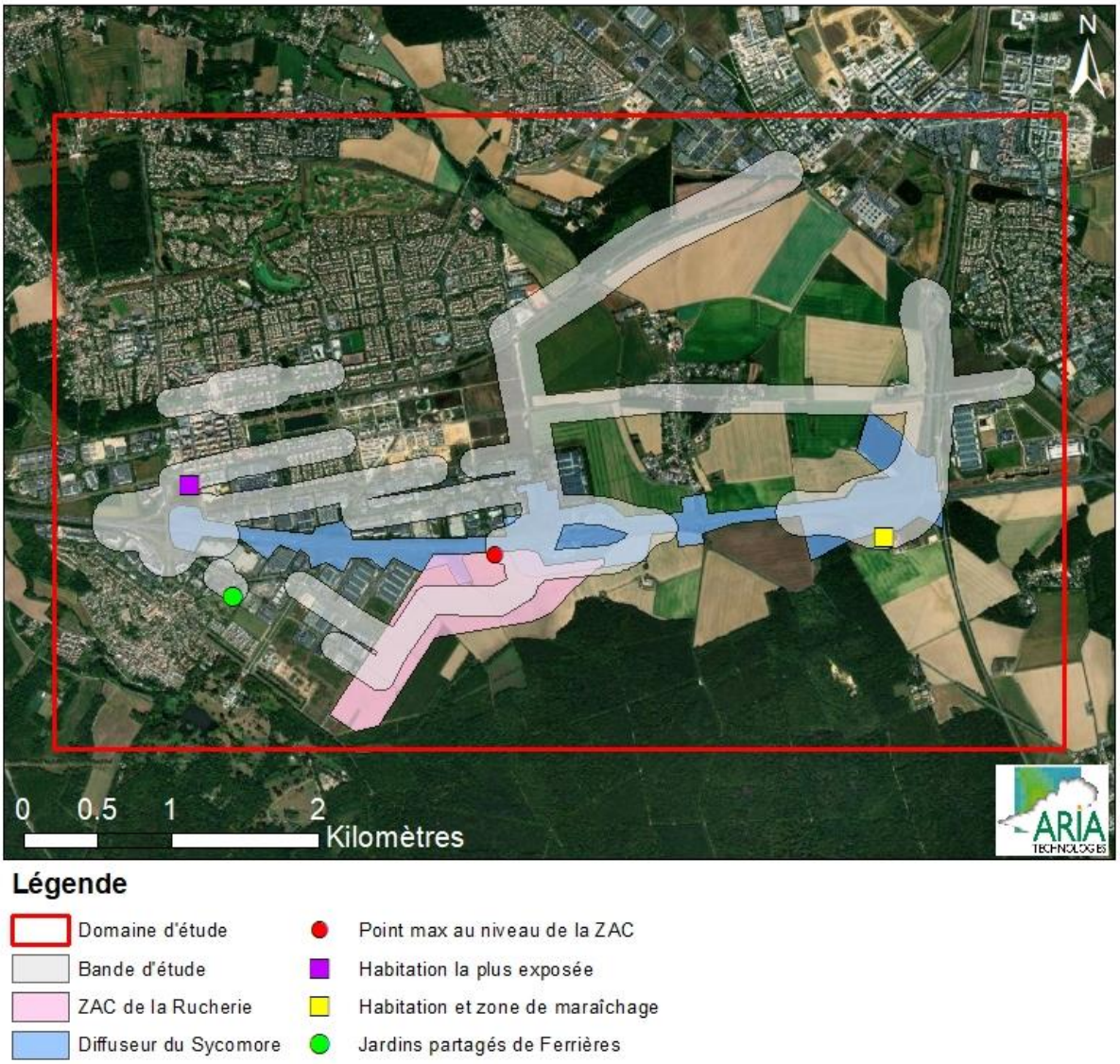
Tableau 27 : récapitulatif des scénarios retenus

Scénario	Durée d'exposition	Voies d'exposition	Valeurs retenues
Scénario Habitant Majorant	100 % du temps passé sur la zone (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	Inhalation Ingestion	Concentration au niveau de la zone habitée la plus exposée de la bande d'étude. Dépôts au niveau des jardins partagés de Ferrières.
Scénario Habitant Moyen	100 % du temps passé sur la zone (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	Inhalation	Concentration à laquelle 50 % des habitations sont exposées.
Scénario Travailleur	100 % du temps passé sur la zone : - 10h/jour dans la ZAC de la Rucherie - 14h/jour en zone habitée (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	Inhalation	Concentration au niveau du point le plus exposé de la ZAC de la Rucherie. Concentration au niveau de la zone habitée la plus exposée de la bande d'étude.
Scénario Maraîcher	100 % du temps passé de la zone de maraîchage (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	Inhalation Ingestion	Concentrations et dépôts au niveau de la zone de maraîchage.

Les points retenus pour les différents scénarios sont localisés sur la Figure 48.

A noter qu'en l'absence de données sur les concentrations à l'intérieur des logements, la population est supposée être exposée à la concentration atmosphérique extérieure même en intérieur (crèche, école, domicile).

Figure 48 : localisation des points retenus pour les scénarios d'exposition



5.2.5.2 Résultats de la modélisation

Les Tableau 28 et Tableau 29 présente les concentrations et dépôts considérés pour chaque scénario d'exposition retenu (cf. paragraphe 5.2.5.1) retenus pour les cinq situations étudiées (initiale, référence 2025, projet 2025, référence 2035, projet 2035). Ces données sont issues des résultats de la modélisation de la dispersion des polluants atmosphériques.

A noter que ces concentrations tiennent compte du bruit de fond quand il est disponible à savoir pour le NO_2, les PM10, les PM2,5, le B(a)P, les 16 HAP, l'arsenic, le nickel et le benzène.

Tableau 28 : concentrations retenues pour chaque situation et pour les scénarios d'exposition « Habitant Majorant » et « Habitant Moyen »

Substances	Unité	Scénario Habitant Moyen					Scénario Habitant Majorant				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044	Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044
Concentrations en exposition chronique (concentration moyenne annuelle)											
		Concentration à laquelle 50% des populations sont exposées					Concentration dans la zone habitée la plus exposée				
NO_2	µg/m³	20.8	17.8	17.1	15.5	15.2	28.7	22.9	22.5	18.1	17.9
PM10	µg/m³	19.2	19.1	19.1	19.1	19.1	20.0	19.9	19.8	19.8	19.8
PM2,5	µg/m³	12.4	12.3	12.3	12.3	12.3	13.0	12.8	12.8	12.7	12.7
Benzène	µg/m³	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
1,3 butadiène	µg/m³	2.0E-02	1.4E-02	1.2E-02	7.2E-03	6.2E-03	4.3E-02	2.9E-02	2.8E-02	1.5E-02	1.4E-02
Arsenic	µg/m³	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04
Nickel	µg/m³	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04
Chrome VI	µg/m³	9.2E-06	7.9E-06	7.4E-06	6.9E-06	6.7E-06	2.4E-05	2.0E-05	1.9E-05	1.7E-05	1.7E-05
BAP	µg/m³	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.5E-04	3.5E-04	3.5E-04	3.4E-04	3.4E-04
16HAP eq B(a)P	µg/m³	3.9E-03	3.7E-03	3.7E-03	3.2E-03	3.2E-03	6.8E-03	6.2E-03	6.1E-03	4.9E-03	4.9E-03
Concentrations en exposition aigue (concentration maximale sur la période étudiée ou centile 100)											
		Concentration à laquelle 50% des populations sont exposées					Concentration dans la zone habitée la plus exposée				
NO_2	µg/m³	62.8	51.0	47.7	35.6	35.6	90.4	79.3	71.6	60.0	60.0
PM10	µg/m³	19.9	19.8	19.7	19.7	19.7	22.2	21.8	21.8	21.6	21.5
PM2,5	µg/m³	13.1	13.0	12.9	12.8	12.8	14.9	14.4	14.3	14.0	14.0
Dépôts totaux sur le sol (dépôts secs et humides)											
		-					Dépôts au niveau des jardins partagés de Ferrières				
BAP	µg/m²/s	Scénario non concerné					7.3E-09	7.2E-09	7.3E-09	5.0E-09	5.2E-09
16HAP eq B(a)P	µg/m²/s						8.1E-07	7.9E-07	8.1E-07	5.6E-07	5.7E-07

Tableau 29 : concentrations retenues pour chaque situation et pour les scénarios d'exposition « Travailleur » et « Maraîcher »

Substances	Unité	Scénario Travailleur					Scénario Maraîcher				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044	Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044
Concentrations en exposition chronique (concentration moyenne annuelle)											
		Concentration maximale dans la ZAC de la Rucherie					Concentration au niveau de la zone de maraîchage la plus exposée				
NO_2	µg/m³	28.5	24.4	22.4	19.2	18.4	22.4	19.3	18.4	16.4	16.0
PM10	µg/m³	19.8	19.7	19.7	19.5	19.7	19.2	19.2	19.1	19.1	19.1
PM2,5	µg/m³	12.9	12.8	12.7	12.6	12.7	12.5	12.4	12.3	12.3	12.3
Benzène	µg/m³	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
1,3 butadiène	µg/m³	4.2E-02	3.3E-02	2.7E-02	1.8E-02	1.5E-02	2.4E-02	1.8E-02	1.6E-02	9.6E-03	8.6E-03
Arsenic	µg/m³	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04
Nickel	µg/m³	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.2E-04	9.3E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04
Chrome VI	µg/m³	2.2E-05	1.9E-05	1.8E-05	1.4E-05	1.6E-05	1.1E-05	9.5E-06	8.3E-06	7.6E-06	7.4E-06
BAP	µg/m³	3.5E-04	3.5E-04	3.5E-04	3.4E-04	3.4E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04
16HAP eq B(a)P	µg/m³	6.5E-03	6.3E-03	6.5E-03	4.8E-03	5.2E-03	4.5E-03	4.4E-03	4.2E-03	3.6E-03	3.6E-03
Concentrations en exposition aigue (concentration maximale sur la période étudiée ou centile 100)											
		Concentration maximale dans la ZAC de la Rucherie					Concentration au niveau de la zone de maraîchage la plus exposée				
NO_2	µg/m³	106.8	98.4	94.4	80.8	78.2	91.0	80.4	71.4	61.1	61.1
PM10	µg/m³	22.4	22.5	22.0	21.8	21.8	20.9	21.1	20.5	20.6	20.6
PM2,5	µg/m³	15.6	15.3	14.7	14.4	14.3	13.9	13.8	13.5	13.4	13.4
Dépôts totaux sur le sol (dépôts secs et humides)											
		-					Dépôts au niveau de la zone de maraîchage la plus exposée				
BAP	µg/m²/s	Scénario non concerné					1.3E-08	1.2E-08	1.1E-08	8.2E-09	8.1E-09
16HAP eq B(a)P	µg/m²/s						1.4E-06	1.3E-06	1.2E-06	9.1E-07	8.9E-07

5.2.5.3 Comparaison des concentrations aux valeurs guides OMS

Le NO_2 et les poussières (PM10 et PM2,5) ne disposent pas de valeur de référence applicable mais des valeurs guides ont été fixées par l'OMS (2005) pour évaluer l'impact des émissions sur la qualité de l'air et la santé des populations exposées. Pour ces substances, les concentrations modélisées seront simplement comparées aux valeurs guides conformément à la note d'information de la DGS d'octobre 2014.

5.2.5.3.1 Risque chronique

Le Tableau 30 indique les concentrations estimées au niveau des points représentatifs ainsi que les valeurs guides de l'OMS (cf. paragraphe 5.2.4.1.3, Tableau 23) pour l'exposition chronique (exposition annuelle). Les valeurs en rouge sont supérieures aux recommandations OMS.

Tableau 30 : concentration en moyenne annuelle et valeurs guides OMS

Scénario	Situation	Risque Chronique		
		Dioxyde d'azote	Poussières PM10	Poussières PM2.5
Scénario Habitant Moyen	Situation Initiale	20.8	19.2	12.4
	Situation de Référence 2025	17.8	19.1	12.3
	Situation Projet 2025	17.1	19.1	12.3
	Situation de Référence 2035	15.5	19.1	12.3
	Situation Projet 2035	15.2	19.1	12.3
Scénario Habitant Majorant	Situation Initiale	28.7	20.0	13.0
	Situation de Référence 2025	22.9	19.9	12.8
	Situation Projet 2025	22.5	19.8	12.8
	Situation de Référence 2035	18.1	19.8	12.7
	Situation Projet 2035	17.9	19.8	12.7
Scénario Travailleur	Situation Initiale	28.5	19.8	12.9
	Situation de Référence 2025	24.4	19.7	12.8
	Situation Projet 2025	22.4	19.7	12.7
	Situation de Référence 2035	19.2	19.5	12.6
	Situation Projet 2035	18.4	19.7	12.7
Scénario Maraichage	Situation Initiale	22.4	19.2	12.5
	Situation de Référence 2025	19.3	19.2	12.4
	Situation Projet 2025	18.4	19.1	12.3
	Situation de Référence 2035	16.4	19.1	12.3
	Situation Projet 2035	16.0	19.1	12.3
Valeur guide OMS (moyenne annuelle)		40	20	10
Bruit de fond		14.1 (situation initiale) 13.1 (situations futures)	18.7	12

Pour le dioxyde d'azote, quels que soit la situation et le scénario, les concentrations ne dépassent jamais la valeur guide de l'OMS. Pour les poussières PM10, la valeur guide est atteinte au niveau de l'habitation la plus exposée pour la situation initiale.

Pour les poussières PM2,5, pour chaque scénario, quelle que soit la situation envisagée, les concentrations dépassent la valeur guide de l'OMS. Rappelons que la valeur de bruit de fond retenue est à elle seule supérieure à la valeur guide OMS, le projet ne contribuant que très peu aux concentrations en poussières.

Figure 49 – concentration NO_2 (µg/m³)

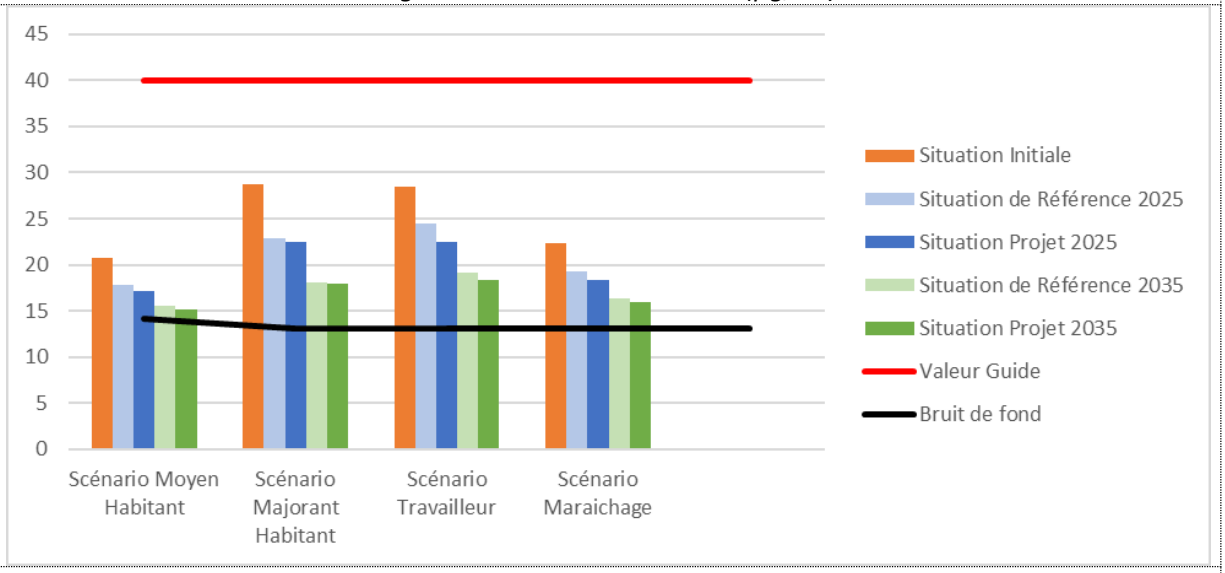


Figure 50 – concentration PM10 (µg/m³)

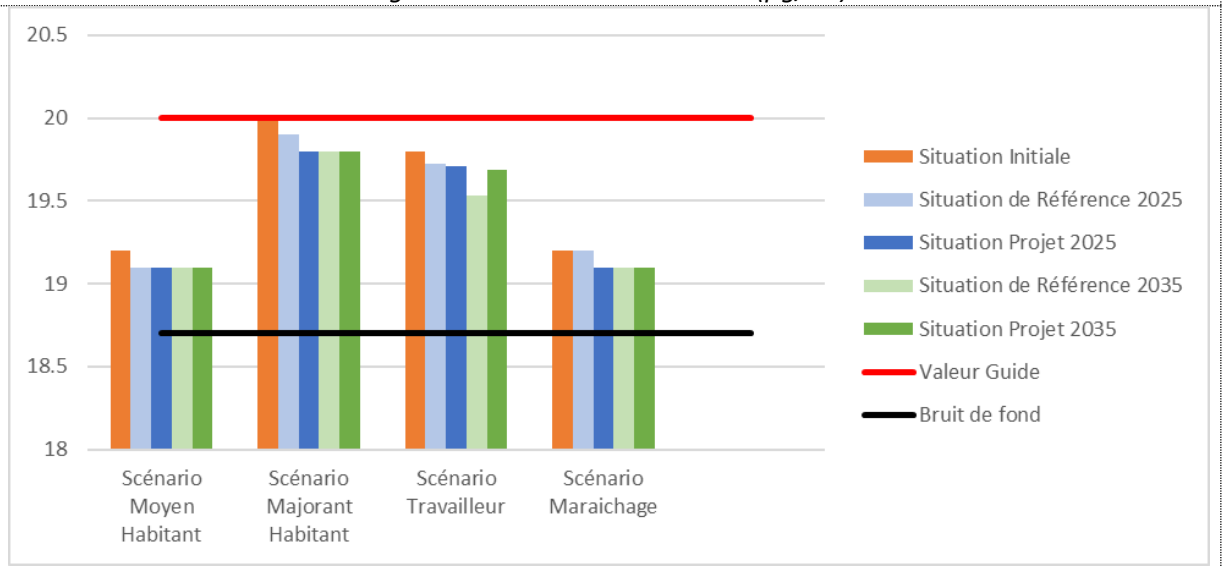
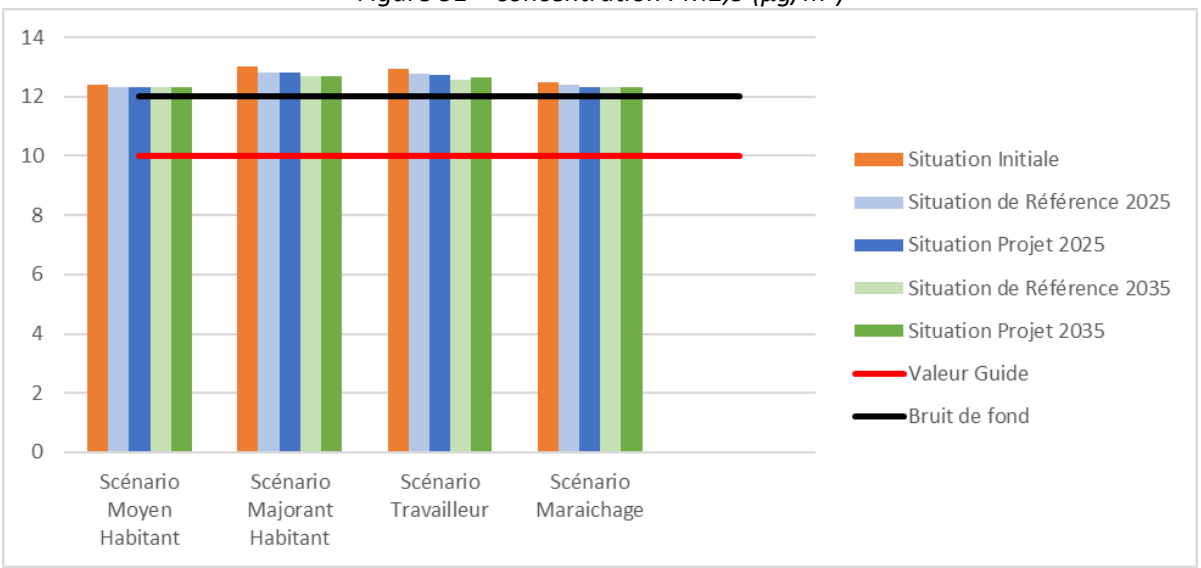


Figure 51 – concentration PM2,5 (µg/m³)



5.2.5.3.2 Risque aigu

Le Tableau 31 indique les concentrations estimées au niveau des points représentatifs ainsi que les valeurs guides de l'OMS (cf. paragraphe 5.2.4.1.3, Tableau 23) pour l'exposition aigue (concentration la plus élevée rencontrée sur la période étudiée).

Tableau 31 : concentration en centile 100 (concentration maximale) et valeurs guides OMS

Scénario d'exposition	Situation	Risque aigu		
		Dioxyde d'azote	Poussières PM10	Poussières PM2.5
Scénario Habitant Moyen	Situation Initiale	62.8	19.9	13.1
	Situation de Référence 2024	51.0	19.8	13.0
	Situation Projet 2024	47.7	19.7	12.9
	Situation de Référence 2044	35.6	19.7	12.8
	Situation Projet 2044	35.6	19.7	12.8
Scénario Habitant Majorant	Situation Initiale	90.4	22.2	14.9
	Situation de Référence 2024	79.3	21.8	14.4
	Situation Projet 2024	71.6	21.8	14.3
	Situation de Référence 2044	60.0	21.6	14.0
	Situation Projet 2044	60.0	21.5	14.0
Scénario Travailleur	Situation Initiale	106.8	22.4	15.6
	Situation de Référence 2025	98.4	22.5	15.3
	Situation Projet 2025	94.4	22.0	14.7
	Situation de Référence 2035	80.8	21.8	14.4
	Situation Projet 2035	78.2	21.8	14.3
Scénario Maraichage	Situation Initiale	91.0	20.9	13.9
	Situation de Référence 2024	80.4	21.1	13.8
	Situation Projet 2024	71.4	20.5	13.5
	Situation de Référence 2044	61.1	20.6	13.4
	Situation Projet 2044	61.1	20.6	13.4
Valeur guide OMS Exposition Aigue		200	50	25
Bruit de fond		14.1 (situation initiale) 13.1 (situations futures)	18.7	12

Les concentrations en dioxyde d'azote et en poussières PM10 et PM2.5 respectent les valeurs guides OMS pour tous les scénarios étudiés.

5.2.5.4 Doses d'exposition par voie respiratoire

5.2.5.4.1 Méthode de calcul des doses d'exposition par voie respiratoire

Pour une exposition par inhalation, la dose d'exposition par voie respiratoire correspond à la concentration inhalée (CI) et est calculée de la manière suivante :

$$CI = \left(\sum Ci \times ti\right) \times F \times \frac{T}{T_m}$$

Avec :

CI : concentration moyenne inhalée (µg/m^3)
Ci : concentration de polluant dans l'air (µg/m^3)
ti : Fraction du temps d'exposition à la concentration Ci
F : fréquence d'exposition (nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition passé dans la zone d'étude ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours).
T : durée d'exposition (années)
Tm : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années).

En l'absence de données sur le temps passé par les populations sur le domaine d'étude et en dehors du domaine d'étude, et en l'absence aussi de données sur les concentrations d'exposition des personnes pendant le temps passé en dehors du domaine d'étude, il est posé l'hypothèse majorante que les populations séjournent **24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an** sur le domaine d'étude. La fréquence d'exposition F est donc de 1 dans cette étude.

La fraction d'exposition ti à la concentration Ci sur le domaine d'étude varie selon les scénarios étudiés (cf. paragraphe 5.2.5.1 et Tableau 32).

Tableau 32 : Durées d'exposition retenues par scénario

Scénario	Fraction dans la zone d'étude (F)	Fraction d'exposition (ti)
Scénario Habitant Majorant	F=1 100 % du temps passé dans la zone d'étude (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	100 % du temps exposé à la concentration calculée dans la zone habitée la plus exposée de la bande d'étude
Scénario Habitant Moyen	F=1 100 % du temps passé dans la zone d'étude (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	100 % du temps exposé à la concentration à laquelle 50 % des habitations sont exposées
Scénario Travailleur	F=1 100 % du temps passé dans la zone d'étude (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	10h/jour dans la ZAC de la Rucherie 14h/jour en zone habitée la plus exposée
Scénario Maraîcher	F=1 100 % du temps passé dans la zone d'étude (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	100 % du temps exposé à la concentration calculée dans la ferme la plus exposée

Conformément à la note technique TRET1833075N du 22/02/2019, il sera pris en considération 70 ans d'exposition (T).

Pour les polluants avec effets "à seuils", conformément à la méthodologie donnée par le référentiel de l'INERIS[18], l'exposition moyenne est calculée sur la durée effective d'exposition, soit T = Tm[19].

[18] Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées, INERIS Août 2013

[19] Le ratio T/T_m n'apparaît donc que dans les calculs pour les toxiques à effet sans seuil.

Pour les effets “sans seuils”, Tm sera assimilé à la vie entière prise conventionnellement égale à 70 ans.

L’étude porte sur des expositions chroniques, c'est-à-dire des expositions récurrentes ou continues pendant plusieurs années.

Comme l’indique la formule ci-dessus, notons que le calcul de la concentration moyenne inhalée CI ne fait pas intervenir de paramètres physiologiques, les résultats ainsi obtenus s'appliquent aussi bien à l'exposition par inhalation d'un adulte qu'à celle d'un enfant.

Rappelons également que faute d’information sur les concentrations à l’intérieur des logements, la population est supposée être exposée à la concentration atmosphérique extérieure même en intérieur (crèche, école, domicile).

5.2.5.4.2 Doses d'exposition par voie respiratoire

L'estimation de l'exposition par inhalation est basée sur les concentrations en moyenne annuelle estimées par l'étude de dispersion au niveau des différents points (cf. Tableau 28). Elles tiennent compte du bruit de fond excepté pour le chrome VI et le 1,3 butadiène pour lesquels nous ne disposons pas de valeurs.

Tableau 33 : doses d'exposition par inhalation pour les effets à seuil

Substances	Unité	Scénario Habitant Moyen					Scénario Habitant Majorant				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044	Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044
BAP	µg/m³	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.2E-04	3.2E-04	3.5E-04	3.5E-04	3.5E-04	3.4E-04	3.4E-04
Benzène	µg/m³	9.3E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.1E-01	9.1E-01	9.6E-01	9.4E-01	9.4E-01	9.2E-01	9.2E-01
Arsenic	µg/m³	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04
Chrome VI	µg/m³	9.2E-06	7.9E-06	7.4E-06	6.9E-06	6.7E-06	2.4E-05	2.0E-05	1.9E-05	1.7E-05	1.7E-05
Nickel	µg/m³	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04
1,3 butadiène	µg/m³	2.0E-02	1.4E-02	1.2E-02	7.2E-03	6.2E-03	4.3E-02	2.9E-02	2.8E-02	1.5E-02	1.4E-02
Substances	Unité	Scénario Travailleur					Scénario Maraichage				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044	Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044
BAP	µg/m³	3.5E-04	3.5E-04	3.5E-04	3.4E-04	3.4E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04	3.3E-04
Benzène	µg/m³	9.6E-01	9.4E-01	9.4E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.0E-01
Arsenic	µg/m³	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04
Chrome VI	µg/m³	2.3E-05	1.9E-05	1.9E-05	1.6E-05	1.7E-05	1.1E-05	9.5E-06	8.3E-06	7.6E-06	7.4E-06
Nickel	µg/m³	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04
1,3 butadiène	µg/m³	4.3E-02	3.1E-02	2.8E-02	1.6E-02	1.5E-02	2.4E-02	1.8E-02	1.6E-02	9.6E-03	8.6E-03

Tableau 34 : doses d'exposition par inhalation pour les effets sans seuil

Substances	Unité	Scénario Habitant Moyen					Scénario Habitant Majorant				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044	Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044
16 HAP eq. B(a)P	µg/m³	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	1.9E-03	3.4E-04
Benzène	µg/m³	9.3E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.1E-01	9.1E-01	9.6E-01	9.4E-01	9.4E-01	9.2E-01	9.2E-01
Nickel	µg/m³	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04
Arsenic	µg/m³	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04
Chrome VI	µg/m³	9.2E-06	7.9E-06	7.4E-06	6.9E-06	6.7E-06	2.4E-05	2.0E-05	1.9E-05	1.7E-05	1.7E-05
1,3 butadiène	µg/m³	2.0E-02	1.4E-02	1.2E-02	7.2E-03	6.2E-03	4.3E-02	2.9E-02	2.8E-02	1.5E-02	1.4E-02
Substances	Unité	Scénario Travailleur					Scénario Maraichage				
		Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044	Situation Initiale	Situation de Référence 2024	Situation Projet 2024	Situation de Référence 2044	Situation Projet 2044
16 HAP eq. B(a)P	µg/m³	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03	1.9E-03
Benzène	µg/m³	9.6E-01	9.4E-01	9.4E-01	9.2E-01	9.2E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.0E-01	9.0E-01
Nickel	µg/m³	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.3E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04	9.2E-04
Arsenic	µg/m³	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04	2.2E-04
Chrome VI	µg/m³	2.3E-05	1.9E-05	1.9E-05	1.6E-05	1.7E-05	1.1E-05	9.5E-06	8.3E-06	7.6E-06	7.4E-06
1,3 butadiène	µg/m³	4.3E-02	3.1E-02	2.8E-02	1.6E-02	1.5E-02	2.4E-02	1.8E-02	1.6E-02	9.6E-03	8.6E-03

5.2.5.5 Doses d'exposition par ingestion

Il existe pour certains éléments comme les HAP une possibilité d'exposition par ingestion liée aux retombées atmosphériques. Il convient de distinguer deux voies d'exposition potentielles par ingestion :

- **l'une directe par le biais d'ingestion de poussières** (mains, objets ou aliments souillés par de la terre et portés à la bouche). Des études expérimentales ont en effet permis d'estimer la part de poussières et de sols ingérés par les personnes exposées pour différentes tranches de la vie. Il est montré que les enfants, de par leurs jeux et comportements, ingèrent de plus grandes quantités de terre que les adultes.
- **l'autre indirecte par le transfert de contaminants au travers de la chaîne alimentaire**. Cette voie concerne les composés susceptibles de se redéposer et qui ont de plus un caractère bio-cumulatif, c'est-à-dire qui ont la possibilité de s'accumuler sans être dégradés dans les végétaux et animaux.

5.2.5.5.1 Scénario d'exposition

Dans cette étude, l'exposition des populations est prise égale à **70 ans** (cf. paragraphe 5.2.5.4). Trois valeurs de dépôts sont retenues pour effectuer les calculs de remontée dans la chaîne alimentaire :

- Dcult, dépôt au niveau des zones de culture agricole, pris en compte pour les transferts suivants : sol→végétaux→homme,
- Dpop, dépôt au niveau des premières zones d'habitation les plus exposées, pris en compte pour tous les autres transferts : sol→homme.

Dans cette étude, l'exposition par ingestion est retenue pour les scénarios suivants :

- **Scénario Habitant Majorant :** Dpop=Dcult=Dépôts au niveau du point « jardins partagés de Ferrières » (cf. Figure 48 page 71) ;
- **Scénario maraichage :** Dpop=Dcult=Dépôts au niveau du point « zone de maraîchage ».

5.2.5.5.2 Cibles retenues

En fonction des données disponibles sur les consommations alimentaires des individus, la population a été divisée en plusieurs classes d'âge :

- les nourrissons âgés de 0 à 1 an,
- les enfants âgés de 1 an à 3 ans,
- les enfants âgés de 3 ans à 6 ans,
- les enfants âgés de 6 ans à 11 ans,
- les enfants âgés de 11 ans à 15 ans,
- les enfants âgés de 15 ans à 18 ans,
- et les plus de 18 ans.

Les risques non cancérigènes sont estimés au moment de la contamination maximale des milieux, c'est-à-dire au terme des 70 années d'exposition.

5.2.5.5.3 Voies d'exposition par ingestion retenues dans l'étude

Les différentes voies possibles d'exposition par ingestion de produits d'origine locale sont les suivantes :

- ingestion de sol,
- ingestion de légumes-racines,

- ingestion de légumes-feuilles,
- ingestion de légumes-fruits,
- ingestion de fruits.

Ainsi, l'exposition par ingestion et en particulier par ingestion indirecte a été estimée en effectuant un calcul à partir d'équations simples qui permet une estimation sommaire de l'apport lié à l'ingestion de légumes et fruits d'origine locale (EPA, HHRAP)[20].

5.2.5.5.4 Détermination des concentrations dans les milieux d'exposition

L'Annexe 3 présente la méthodologie et les hypothèses retenues pour calculer les concentrations en composés dans les milieux auxquels les personnes sont exposées, à partir des données de la modélisation selon la méthode de l'EPA (HHRAP).

Dans cette approche de l'EPA, les dépôts modélisés sont supposés s'accumuler sur le sol au cours du temps sans aucun phénomène d'atténuation (lixiviation, érosion, dégradation, ...) et la concentration de polluants dans le sol est obtenue par calcul de la dilution dans le sol de la quantité de composés déposés dans la couche de sol considérée. Il s'agit donc d'une **approche majorante simplifiée**.

5.2.5.5.5 Calcul des Doses Journalières d'Exposition par voie digestive

La Dose Journalière d'Exposition (DJE) par ingestion est calculée suivant l'équation :

$$\boldsymbol{DJE = \sum_{i} \frac{C_i \times Q_i \times f_i \times F}{P}}$$

Avec :

- DJE : Dose Journalière d'Exposition totale (mg/kg poids corporel/jour)
- C_i : concentration en polluant dans l'aliment i (mg/kg)

i correspondant au sol (terre ingérée), aux légumes-feuilles, aux légumes-fruits, aux légumes-racines, aux fruits

- Q_i : quantité de l'aliment i ingérée (kg/jour)
- f_i : fraction d'aliment i provenant de la zone d'exposition (-)
- F : fréquence d'exposition (nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours), fixée à 1 dans une hypothèse majorante.
- P : masse corporelle de la cible (kg)

Les concentrations C_i dans l'aliment i sont calculées suivant les méthodologies présentées au paragraphe 5.2.5.5.4 .

Les Doses Journalières d'Exposition sont calculées en prenant comme hypothèses les valeurs de poids corporel, de consommations journalières et de taux d'autoconsommation préconisées par l'INERIS[21] et utilisées dans le logiciel MODUL'ERS pour chaque catégorie d'âge (cf. 5.2.5.5.1).

[20] EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion facilities. July 1998. EPA530-D-98-001A.

[21] Rapport INERIS-DRC-14-141968-11173C (juin 2017) – Paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel

Tableau 35 : paramètres relatifs aux différentes catégories d'âge (données INERIS)

	Classe 1 : de 0 à 1 an	Classe 2 : de 1 à 3 ans	Classe 3 : de 3 à 6 ans	Classe 4 : de 6 à 11 ans	Classe 5 : de 11 à 15 ans	Classe 6 : de 15 à 18 ans	Classe 7 : les plus de 18 ans
Poids (kg)	7.6	12.4	17.8	28.7	47.2	60	70.4
Consommation de terre							
Quantité de terre ingérée (mg/j)	30	50	50	50	20	20	20
Consommation de légumes et fruits							
Quantité de fruit ingérée (g/j)	16	53	90	90	83	82	160
Quantité de tubercules ingérée (g/j)	18	52	46	46	58	60	58
Quantité de légume racine ingérée (g/j)	15	26	7	7	9	9	12
Quantité de légume feuille ingérée (g/j)	7	22	8	10	12	12	24
Quantité de légume fruit ingérée (g/j)	11	40	66	64	70	72	110
Consommation de produits d'origine animale							
Quantité de bœuf ingérée (g/j)	8.9	31.0	32.0	32.0	39.0	39.0	47.0
Quantité de porc ingérée (g/j)	0.3	22.0	25.0	25.0	32.0	34.0	40.0
Quantité de viande de volaille ingérée (g/j)	2.4	1.1	1.7	1.7	2.3	2.5	3.2
Quantité de produits laitiers ingérée (g/j)	0.1	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Quantité d'œufs ingérée (g/j)	1.8	11.0	10.0	10.0	10.0	11.0	15.0

Tableau 36 : fraction d'aliments auto-produits (données INERIS)

Catégories d'aliments	Fraction d'aliments auto-produits pour la population moyenne
Sol	1
Fruits	0.20
Tubercules	0.45
Légume racine	0.45
Légume feuille	0.50
Légume fruit	0.55
Viande de bœuf	0.03
Viande de porc	0.04
Viande de volaille	0.11
Œufs	0.15
Lait et produits laitiers	0.04

Les Doses Journalières d'Exposition calculées sont présentées dans les Tableau 37 et Tableau 38.

Tableau 37 : Dose Journalière d'Exposition totale pour chaque tranche d'âge (en mg/kg/jour) – Scénario Maraîcher

EN MG/KG/JOUR	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Classe 1 : de 0 à 1 an	1.5E-06	1.4E-06	1.3E-06	1.0E-06	1.0E-06
Classe 2 : de 1 à 3 ans	2.0E-06	1.8E-06	1.7E-06	1.4E-06	1.3E-06
Classe 3 : de 3 à 6 ans	1.3E-06	1.2E-06	1.1E-06	9.1E-07	8.9E-07
Classe 4 : de 6 à 11 ans	8.0E-07	7.6E-07	7.1E-07	5.7E-07	5.6E-07
Classe 5 : de 11 à 15 ans	3.6E-07	3.4E-07	3.2E-07	2.7E-07	2.6E-07
Classe 6 : de 15 à 18 ans	2.9E-07	2.7E-07	2.6E-07	2.1E-07	2.1E-07
Enfant (moyenne)	1.0E-06	9.7E-07	9.1E-07	7.3E-07	7.1E-07
DJE Classe 7 : les plus de 18 ans	3.4E-07	3.2E-07	3.1E-07	2.6E-07	2.6E-07
DJE pondérée sur 30 ans	4.4E-07	4.2E-07	3.9E-07	3.2E-07	3.1E-07

Tableau 38 : Dose Journalière d'Exposition totale pour chaque tranche d'âge (en mg/kg/jour) – Scénario Habitant Majorant

EN MG/KG/JOUR	Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Classe 1 : de 0 à 1 an	9.3E-07	9.1E-07	9.3E-07	6.9E-07	7.0E-07
Classe 2 : de 1 à 3 ans	1.3E-06	1.2E-06	1.3E-06	9.6E-07	9.7E-07
Classe 3 : de 3 à 6 ans	8.4E-07	8.2E-07	8.4E-07	6.5E-07	6.5E-07
Classe 4 : de 6 à 11 ans	5.3E-07	5.2E-07	5.3E-07	4.1E-07	4.1E-07
Classe 5 : de 11 à 15 ans	2.5E-07	2.4E-07	2.5E-07	2.0E-07	2.0E-07
Classe 6 : de 15 à 18 ans	2.0E-07	1.9E-07	2.0E-07	1.6E-07	1.6E-07
Enfant (moyenne)	6.7E-07	6.5E-07	6.7E-07	5.1E-07	5.2E-07
DJE Classe 7 : les plus de 18 ans	2.4E-07	2.4E-07	2.4E-07	2.0E-07	2.0E-07
DJE pondérée sur 30 ans	3.0E-07	2.9E-07	3.0E-07	2.3E-07	2.4E-07

5.2.6 Caractérisation des risques

A partir des informations issues de l'évaluation des expositions des populations et de l'évaluation des propriétés toxiques des substances, l'évaluation des risques présente l'estimation de l'incidence et de la gravité des effets sur les populations.

La caractérisation des risques est la dernière étape de la démarche d'évaluation des risques sanitaires. Elle consiste à confronter les concentrations ou doses auxquelles les populations sont exposées et les valeurs toxicologiques de référence retenues. Les risques sont évalués pour un individu. Les risques collectifs ne sont pas calculés.

5.2.6.1 Méthodologie

La caractérisation des risques étant établie à partir des valeurs toxicologiques de référence, elle se distingue, de la même façon que les VTR pour les composés à effet à seuil et pour les composés à effet sans seuil.

5.2.6.1.1 Substances à effets à seuil

Pour les polluants à seuil (atteinte d'un organe ou d'un système d'organes), il s'agit de calculer les quotients de danger (QD) qui sont le rapport entre les concentrations (CI, Concentration moyenne Inhalée) attendues dans l'environnement et la Valeur Toxicologique de Référence (VTR) (Concentration ou Dose de Référence).

Le quotient de danger est donc le suivant :

Ingestion : $QD_j = DJE_j/VTR_o$ Inhalation : $QD_j = CI/VTR_i$

où : QD_j : Quotient de danger pour la classe d'âge j

DJE_j : Dose journalière d'Exposition pour la classe d'âge j (en mg/kg de poids corporel/jour)

VTR_o : Valeur Toxicologique de Référence pour la voie digestive (en mg/kg de poids corporel/jour)

CI : Concentration inhalée (en µg/m^3)

VTR_i : Valeur Toxicologique de Référence par inhalation (en µg/m^3)

Lorsque ce quotient est inférieur à 1, la survenue d'effet toxique apparaît peu probable même pour les populations sensibles. Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'effets ne peut être exclue.

5.2.6.1.2 Substances à effets sans seuil

Pour les polluants cancérigènes génotoxiques et donc considérés sans seuil d'effet, le risque représente la probabilité de survenue d'effets nocifs chez un individu.

L'excès de risque individuel (ERI) est calculé en multipliant l'excès de risque unitaire (ERU) vie entière (conventionnellement 70 ans) par la concentration atmosphérique inhalée (CI) pour l'inhalation.

L'Excès de Risque Individuel est donc le suivant :

Ingestion : Inhalation :

$$\mathrm{ERI} = \mathrm{VTR_o} \times \sum_j \frac{\mathrm{DJE_j} \times T_j}{70} \qquad \mathrm{ERI} = \mathrm{VTR_i} \times \mathrm{CI}$$

où : ERI : Excès de Risque Individuel

VTR=ERU : Excès de Risque Unitaire par ingestion (ERU_o en $(mg/kg/j)^{-1}$) ou par inhalation (ERU_i en $(\mu g/m^3)^{-1}$). L'ERU correspond à la probabilité supplémentaire de survenue de cancer dans une population exposée à 1 $\mu g/m^3$ par rapport à la probabilité de cancer dans une population non exposée.

CI : Concentration inhalée (en $\mu g/m^3$)

DJE_j : Dose journalière d'Exposition pour la classe d'âge j (en mg/kg de poids corporel/jour)

T_j : durée d'exposition associée à la classe d'âge j (années)

En termes d'interprétation, l'ERI représente la probabilité supplémentaire de survenue d'un effet néfaste chez un individu exposé pendant toute sa vie aux concentrations/doses du composé cancérogène, par rapport à un sujet non exposé.

Pour les effets sans seuil, l'acceptabilité des risques s'effectue par comparaison à des niveaux de risque jugés socialement acceptables. Il n'existe pas de seuil absolu d'acceptabilité. Il est usuellement admis qu'un risque « acceptable » équivaut à un ERI inférieur à 10^{-5} (soit un cas de cancer supplémentaire sur 100 000 personnes exposées durant leur vie entière). Il convient donc de comparer les résultats à la valeur 10^{-5} :

- lorsque la somme des ERI est inférieur à 10^{-5}, le risque est considéré comme non « préoccupant » ;
- lorsque la somme des ERI est supérieur à 10^{-5}, un risque « préoccupant » ne peut être écarté.

5.2.6.1.3 Risque global

Pour tenir compte de l'exposition conjointe à plusieurs composés, l'InVS (2000), repris par l'INERIS (2013), recommande d'estimer le risque sanitaire global en sommant les risques de la façon suivante :

- pour les composés à effet à seuil : la somme doit être réalisée pour ceux dont la toxicité est identique en termes de mécanisme d'action et d'organe cible. Pratiquement, tous les composés ayant la même cible organique ont été regroupés car les données sur les mécanismes d'action des composés ne sont pas toujours connues ;
- pour les composés à effet sans seuil : la somme de tous les ERI doit être réalisée, quel que soit le type de cancer et l'organe touché, de façon à apprécier le risque cancérigène global.

5.2.6.2 Evaluation des risques sanitaires pour les substances à seuil

Les Quotients de Danger (QD) sont calculés pour les traceurs de risque à partir des Concentrations inhalées (CI) ou des Doses Journalières d'Exposition (DJE) et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues (cf. paragraphe 5.2.4.1.3).

Les Figure 52 et Figure 53 présentent les quotients de danger pour les trois scénarios et les cinq situations étudiées sommés par organe cible et cumulés respectivement pour les enfants et pour les adultes.

Quel que soit le scénario et la situation étudiée, les QD sont très inférieurs à la valeur repère égale 1 Ils sont sensiblement du même ordre de grandeur quelle que soit la situation observée, avec une baisse pour les horizons futurs 2025 et 2035.

L'impact du projet sur la population est donc négligeable par rapport au risque à seuil même pour le scénario habitant majorant correspondant à la zone habitée la plus exposée.

Le détail des quotients de danger est disponible en Annexe 4.

Figure 52 – Quotient de Danger Enfant

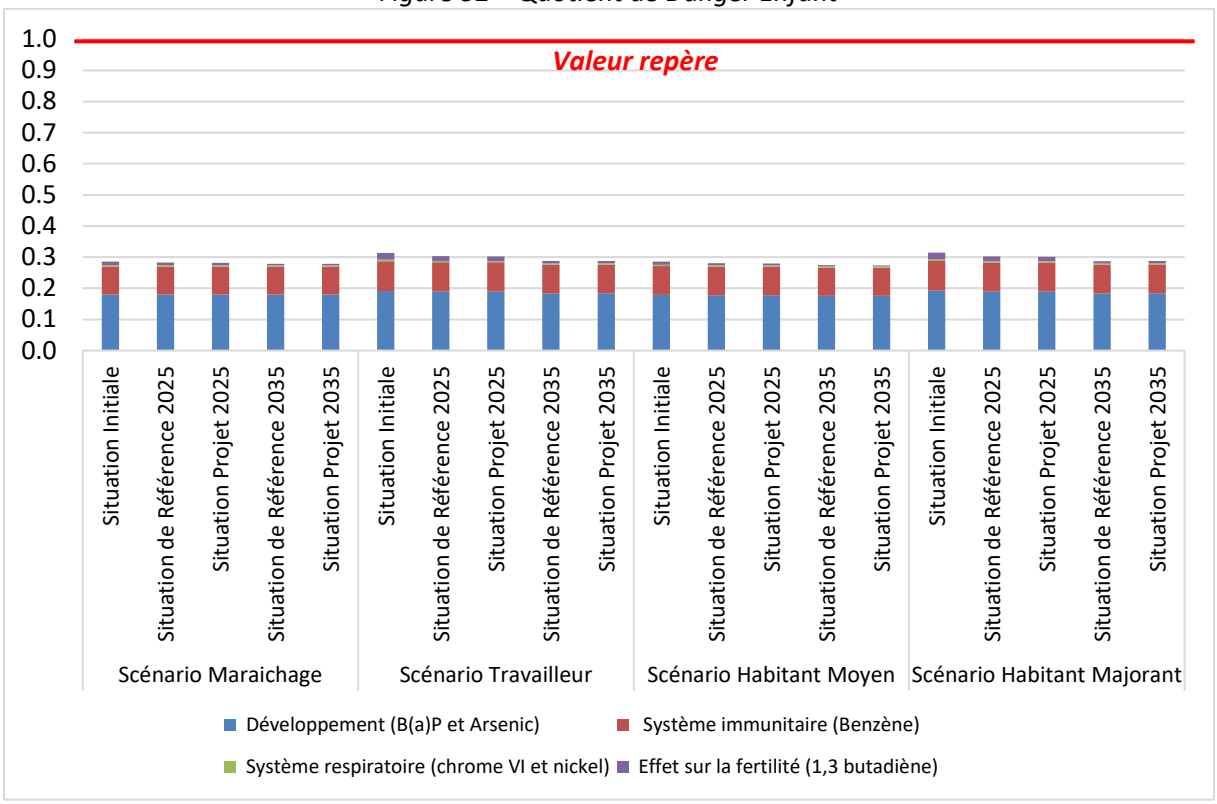
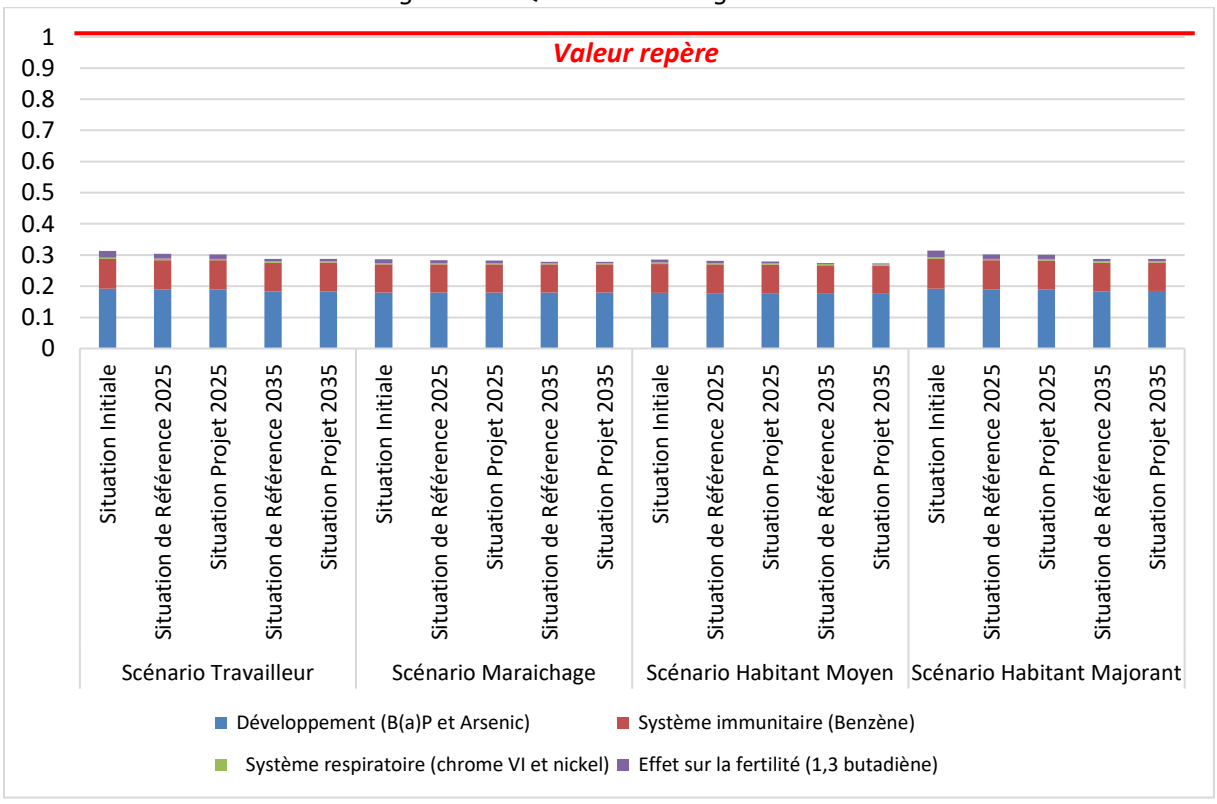


Figure 53 – Quotient de Danger Adulte

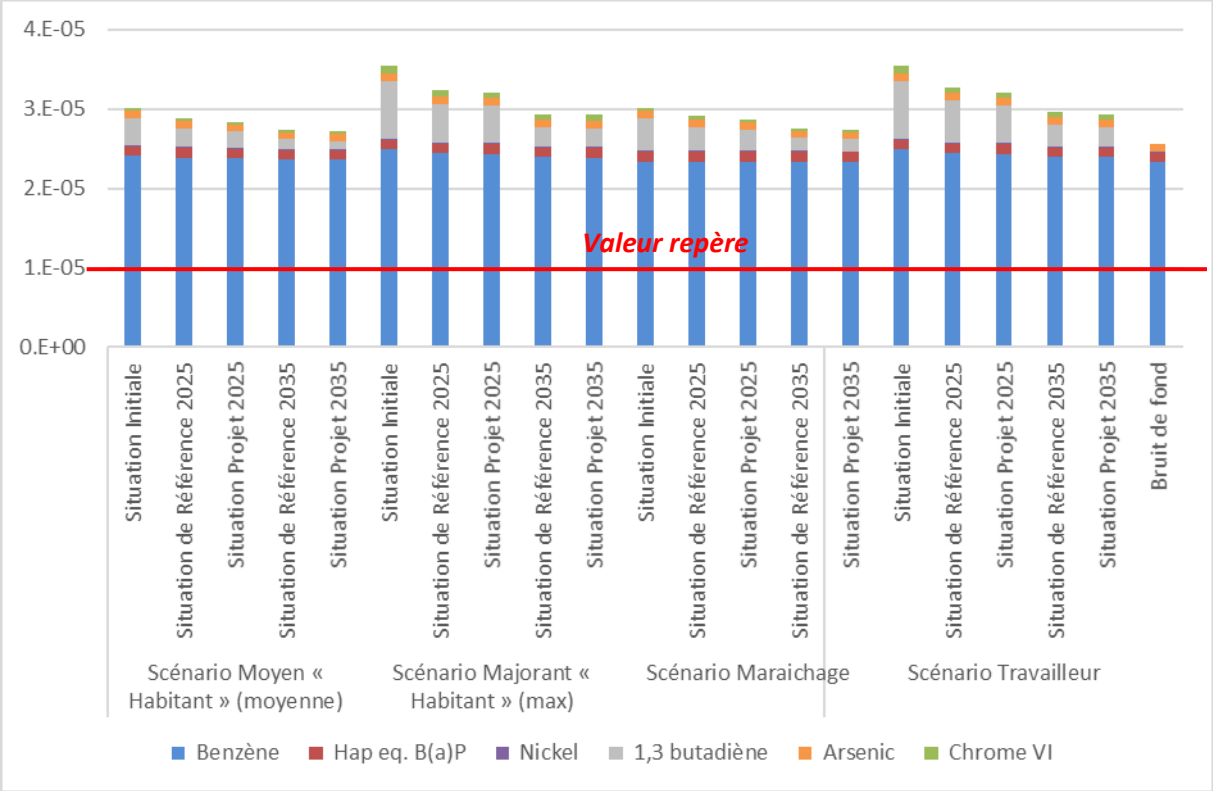


5.2.6.3 Evaluation des risques sanitaires pour les substances sans seuil

Les Excès de Risque Individuel sont calculés pour les traceurs du risque à partir des Concentrations inhalées (CI) ou des Doses Journalières d'Exposition (DJE), et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues (cf. paragraphe 5.2.4.1.3). Le détail des ERI est disponible en Annexe 5.

La Figure 54 présente les ERI cumulés par scénario et pour les 5 situations étudiées.

Figure 54 – Excès de Risque Individuel



Les excès de Risque Individuel calculés pour chaque traceur du risque sont inférieurs à la valeur repère égale à 1.10^{-5} excepté pour le benzène pour lequel quel que soit le scénario et l'horizon, les ERI sont supérieurs à la valeur repère compte tenu du bruit de fond pris en compte qui à lui seul génère un ERI supérieur à 1.10^{-5} (ERI Bruit de fond = $2,3.10^{-5}$).

Quel que soit le scénario étudié, les ERI diminuent entre la situation initiale et les situations aux horizons futurs (projet et référence).

L'impact du projet est négligeable pour les scénarios d'exposition retenus. En effet, les ERI sont stables entre les situations de référence et avec projet.

5.2.6.4 Incertitudes

5.2.6.4.1 Facteurs de sous-estimation des risques

Facteurs pris en compte dans l'ERS
L'évaluation des risques sanitaires ne porte que sur les substances considérées comme traceurs de risque dans cette étude.

Exposition par voie cutanée non considérée
Il n'existe pas de VTR spécifique à cette voie d'exposition. De plus, la transposition à partir des VTR pour les voies respiratoire et orale n'est pas recommandée (note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014). Cette sous-estimation n'a pas forcément d'impact sur les résultats d'évaluation des risques sanitaires, étant donné que l'absorption des polluants par voie cutanée est négligeable devant l'absorption par voies respiratoire et/ou digestive (surface d'échange plus importante et transferts facilités).

5.2.6.4.2 Facteurs de surestimation des risques

La méthodologie pour estimer les risques sanitaires potentiels emploie, par nature, les principes de précaution et est par défaut conservatrice.

Estimation des émissions
Les émissions ont été quantifiées à partir des données de trafic mises à disposition et des facteurs d'émissions les plus récents disponibles (COPERT V).

Durée d'exposition
En absence de données sur le temps d'exposition des personnes, il est pris l'hypothèse qu'elles séjournent sur leur lieu d'habitation en permanence (365 j/an, 24h/24). Cette hypothèse est majorante puisque les personnes ne seront pas exposées en permanence car elles sont amenées à se déplacer pour des raisons personnelles (congés, loisirs) et professionnelles.

Pénétration des polluants dans les habitats

Il est posé l'hypothèse que les polluants ont un taux de pénétration dans les habitats de 100 %, ce qui est une hypothèse majorante.

5.2.6.4.3 Facteurs dont le sens d'influence sur les résultats n'est pas connu ou est variable

Constance des paramètres
Toutes les données utilisées (émissions, dispersion, transferts, exposition) sont supposées rester constantes pendant les années d'exposition futures étudiées.

Interactions des polluants
En absence de connaissances scientifiques suffisantes sur les interactions des polluants les uns par rapport aux autres et des conditions d'interactions en eux, il a été considéré que les polluants qui avaient la même cible organique et le même mécanisme d'action cumulaient leurs risques. En réalité, les polluants peuvent également avoir des effets antagonistes (dans ce cas nous aurions majoré les risques) ou synergiques (dans ce cas nous aurions minimisé les risques).

Concentrations à l'intérieur des bâtiments
Faute d'information sur les concentrations à l'intérieur des logements, la population est supposée être exposée à la concentration atmosphérique extérieure même en intérieur (crèche, école, domicile).

6. MONÉTARISATION ET ANALYSE DES COÛTS COLLECTIFS

La monétarisation des coûts s'attache à comparer avec une unité commune (l'Euro) l'impact lié aux externalités négatives (ou nuisances) et les bénéfices du projet.
L'instruction cadre du 16 juin 2014[22] relative à l'évaluation des projets de transport et sa note technique du 27 juin 2014 présentent la méthode de calcul.

6.1 COÛTS COLLECTIFS DES POLLUTIONS ET NUISANCES

6.1.1 Méthodologie

Une fiche-outils du référentiel d'évaluation des projets de transport[23] précise les valeurs à utiliser pour le calcul socio-économique pour la pollution atmosphérique. Ces valeurs ne couvrent pas tous les effets externes, mais elles concernent néanmoins la pollution locale de l'air sur la base de ses effets sanitaires.

Ainsi, des valeurs tutélaires sont fournies pour chaque catégorie de véhicules (poids lourds, véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers, deux roues, bus) et pour quelques grands types d'occupation humaine (urbain dense, urbain diffus, interurbain, etc.). Les valeurs sont présentées en € 2015 pour l'année 2015 dans le Tableau 39.

Tableau 39 : valeurs tutélaires pour le transport routier (émissions dues à la combustion et à l'usure) (source : fiche-outils Ministère de la Transition Ecologique, 2019)

$€_{2015}$/100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VP	**11,6**	**3,2**	**1,3**	**1,1**	**0,8**
VP diesel	14,2	3,9	1,6	1,3	1,0
VP essence	4,4	1,3	0,6	0,4	0,3
VP GPL	3,7	1,0	0,4	0,3	0,1
VUL	**19,8**	**5,6**	**2,4**	**2,0**	**1,7**
VUL diesel	20,2	5,7	2,5	2,0	1,8
VUL essence	6,3	1,8	0,7	0,5	0,3
PL diesel	**133,0**	**26,2**	**12,4**	**6,6**	**4,4**
Deux roues	**6,7**	**1,9**	**0,8**	**0,6**	**0,5**
Bus	**83,7**	**16,9**	**8,3**	**4,5**	**3,1**

[22] MEEM, Instruction du Gouvernement du 16 juin 2014 relative à l'évaluation des projets de transport (NOR : DEVTT1407546J),

[23] Fiches-outils de la rubrique « Monétarisation », disponibles ici : http://www.developpement-durable.gouv.fr/evaluation-des-projets-transport

Notons que ces valeurs sont modulées en fonction de la densité de population située à proximité du projet. La définition des différentes zones est décrite dans le Tableau 40.

Tableau 40 : densité de population des zones traversées par l'infrastructure (fiche-outils Ministère de la Transition Ecologique, 2019)

	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette (hab./km²)	< 37	37-450	450-1 500	1 500-4 500	> 4 500
Densité moyenne (hab./km²)	25	250	750	2 250	6 750

Par ailleurs, ces valeurs tutélaires sont monétarisées en « euros 2015 ». Elles évoluent selon deux grandeurs dont les effets se combinent :

- l'évolution du PIB par habitant ;
- l'évolution du parc roulant et donc des émissions unitaires des véhicules le composant.

Pour la projection de ces valeurs tutélaires aux horizons étudiés, il a été retenu les valeurs proposées dans la fiche-outil « Cadrage du scénario de référence » en retenant le scénario AMS (avec mesures supplémentaires) comme recommandé par le Ministère de la Transition Ecologique, scénario principal de la SNBC, dont les hypothèses permettent d'atteindre l'objectif politique d'une neutralité carbone à l'horizon 2050, et de diminuer les consommations d'énergie de manière importante et durable via l'efficacité énergétique ou des comportements plus sobres.

Les coûts estimés pour les années d'étude, à savoir 2019, 2025 et 2035, prennent en compte cette règle d'évolution.

6.1.2 Valeurs retenues pour le calcul des coûts collectifs

Sur l'ensemble des mailles de la bande d'étude, la densité la plus importante, à proximité du projet, est supérieure à 10 000 hab/km². **Le domaine d'étude sera donc considéré en zone de type « urbain très dense »** (hypothèse majorante).

Les valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique par unité transportée fixées pour l'année 2015 ont été projetées aux horizons étudiés selon deux grandeurs dont les effets se combinent :

- l'évolution du PIB par habitant : il a été retenu un taux de croissance annuel moyen de 1,8% correspondant à la région Ile-de-France (valeur proposée par la fiche-outil « Cadrage du scénario de référence ») ;
- l'évolution du parc roulant et donc des émissions unitaires des véhicules le composant :
  - pour l'horizon 2019 (situation actuelle), il a été retenu un taux de croissance annuel moyen des émissions unitaires de polluants atmosphériques de -5% pour les VL et de -4% pour les PL (valeur proposée par la fiche-outil « Cadrage du scénario de référence ») ;
  - pour les horizons futurs 2025 et 2035, il a été retenu l'évolution moyenne des émissions des particules, des NOx, du SO_2 et des COVNM, calculées par le logiciel TREFIC entre la situation actuelle 2019 et les horizons futurs (scénarios Fil de l'eau) (cf. Tableau 5).

Le Tableau 41 (page suivante) présente les taux d'évolution par rapport à l'année 2015 retenus pour chacun des paramètres à considérer.

Tableau 41 : évolution globale par rapport à l'année 2015 appliquée aux valeurs tutélaires

Horizon de calcul	Evolution du PIB par rapport à 2015 (%)	Evolution des émissions unitaires par rapport à 2015 (%)	Evolution globale par rapport à 2015 (%)
2019	7.4%	-18.4%	-12.4%
2025	19.5%	-35.7%	-23.2%
2035	42.9%	-47.2%	-24.5%

Les valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique projetées aux horizons de calcul et retenues pour cette étude sont présentées dans le Tableau 42.

Tableau 42 : valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique projetées aux horizons de calcul

année	unité	VP	VUL	PL diesel	Deux roues	Bus
2015	€2015 / 100 véh.km	11.6	19.8	133	6.7	83.7
2019	€2019 / 100 véh.km	10.2	17.3	116.5	5.9	73.3
2025	€2025 / 100 véh.km	8.9	15.2	102.2	5.1	64.3
2035	€2035 / 100 véh.km	8.8	14.9	100.4	5.1	63.2

6.1.3 Résultats des coûts collectifs induits

Le Tableau 43 présente la quantité de trafic pour les catégories VP (véhicules particuliers) et PL (poids lourds).

Tableau 43 : quantité de trafic

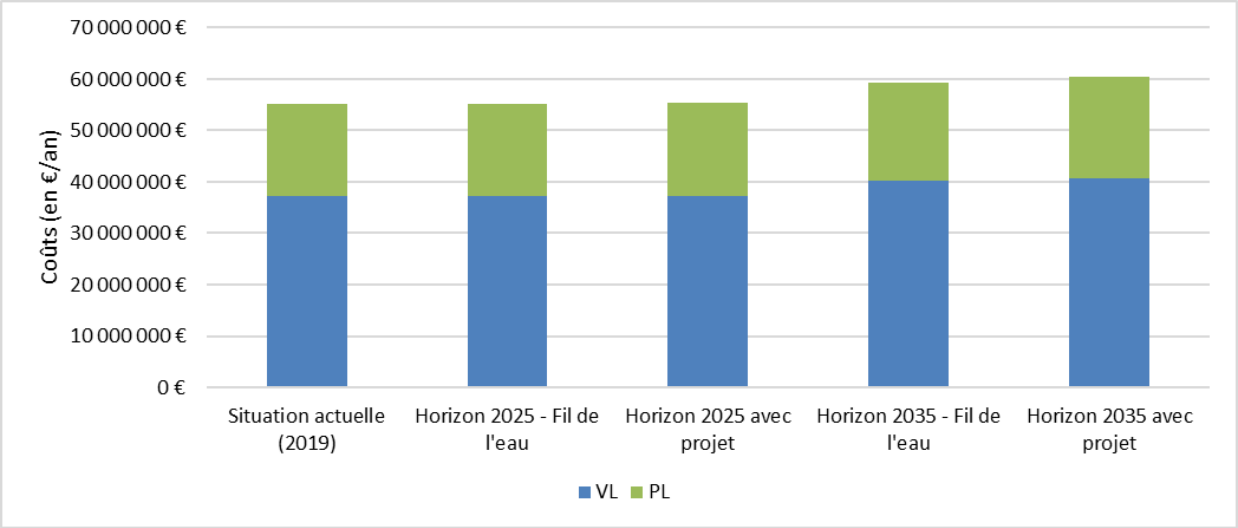
	VP (véh×km/j)	PL (véh×km/j)	TOTAL (véh×km/j)
Situation initiale (2019)	1 002 932	42 194	1 045 126
Situation future (2025) fil de l'eau	1 145 087	47 820	1 192 907
Situation future (2025) avec projet	1 145 291	48 305	1 193 596
Situation future (2035) fil de l'eau	1 255 138	52 317	1 307 455
Situation future (2035) avec projet	1 275 804	53 636	1 329 440

A partir de la quantité de trafic et des valeurs tutélaires projetées aux horizons de calcul, les coûts collectifs dus au trafic routier peuvent être évalués. Le Tableau 44, ci-dessous, et la Figure 55 (ci-après) présentent les résultats en euros par jour et par an ainsi calculés pour les cinq scénarios étudiés.

Tableau 44 : coûts collectifs induits par le trafic automobile par jour

	Situation actuelle (2019)	Horizon 2025 - Fil de l'eau	Horizon 2025 avec projet	Horizon 2035 - Fil de l'eau	Horizon 2035 avec projet
sur une journée					
VL	101 942 €	102 075 €	102 093 €	109 914 €	111 724 €
PL	49 173 €	48 875 €	49 370 €	52 529 €	53 853 €
Total	**151 115 €**	**150 950 €**	**151 464 €**	**162 443 €**	**165 577 €**
sur l'année					
VL	37 209 k€	37 257 k€	37 264 k€	40 119 k€	40 779 k€
PL	17 948 k€	17 839 k€	18 020 k€	19 173 k€	19 656 k€
Total	**55 157 k€**	**55 097 k€**	**55 284 k€**	**59 292 k€**	**60 436 k€**

Figure 55 : coûts collectifs induits par le trafic automobile par an



Les coûts collectifs restent stables entre la situation « fil de l'eau » et la situation avec projet en 2025 et augmentent légèrement de 2,0 % en 2035, conformément aux augmentations de trafic. L'impact du projet est donc très limité.

6.2 COUTS LIES A L'EFFET DE SERRE

« Contrairement aux autres valeurs de monétarisation des coûts externes qui relèvent d'une démarche coûts avantages, la valeur retenue pour le carbone est fondée sur une relation coût efficacité : il s'agit du niveau de taxation du carbone contenu dans les émissions de gaz à effet de serre qui permettrait à la France de satisfaire aux engagements issus de Kyoto[24]. »

Le coût social du carbone peut être considéré comme étant la valeur du préjudice qui découle de l'émission d'une tonne de CO_2.

Suite aux conclusions de la commission de France Stratégie présidée par Alain Quinet[25], le coût de la tonne de CO_2 (ou CO_2-équivalent) est de :

- 53 $€_{2015}$ la tonne de CO_2 en 2018,
- 246 $€_{2015}$ la tonne de CO_2 en 2030,
- 491 $€_{2015}$ la tonne de CO_2 en 2040.

Ces valeurs reprennent les recommandations de la commission Quinet en les rapportant aux conditions économiques de 2015. La valeur tutélaire du carbone évolue selon un rythme linéaire entre 2018 et 2030 ainsi qu'entre 2030 et 2040. Au-delà de 2040, le coût du carbone augmente au rythme de 4,5 % par an.

Le Tableau 45 présente les valeurs tutélaires du carbone retenues pour les horizons étudiés.

Tableau 45 : valeurs tutélaires du carbone (source : fiche-outils Ministère de la Transition Ecologique, 2019)

Année	Coût ($€_{2015}$/tonne CO_2)
2019	69 €
2025	166 €
2035	369 €

Pour chaque scénario étudié, les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) ont été calculées.

La détermination des coûts liés à l'effet de serre se base sur la tonne de CO_2. Par conséquent, les émissions de GES calculées ont été ramenées à une émission exprimée en « équivalent CO_2 » :

- 1 kg de N_2O équivaut à 298 kg de CO_2 ;
- 1 kg de CH_4 équivaut à 25 kg de CO_2.

Les émissions de GES en équivalent CO_2 sont présentées dans le Tableau 46, en page suivante.

[24] Protocole de Kyoto

[25] France Stratégie, La valeur de l'action pour le climat, rapport de la commission présidée par Alain Quinet, 190p, février 2019

Tableau 46 : émissions de GES en équivalent CO_2 (t/jour)

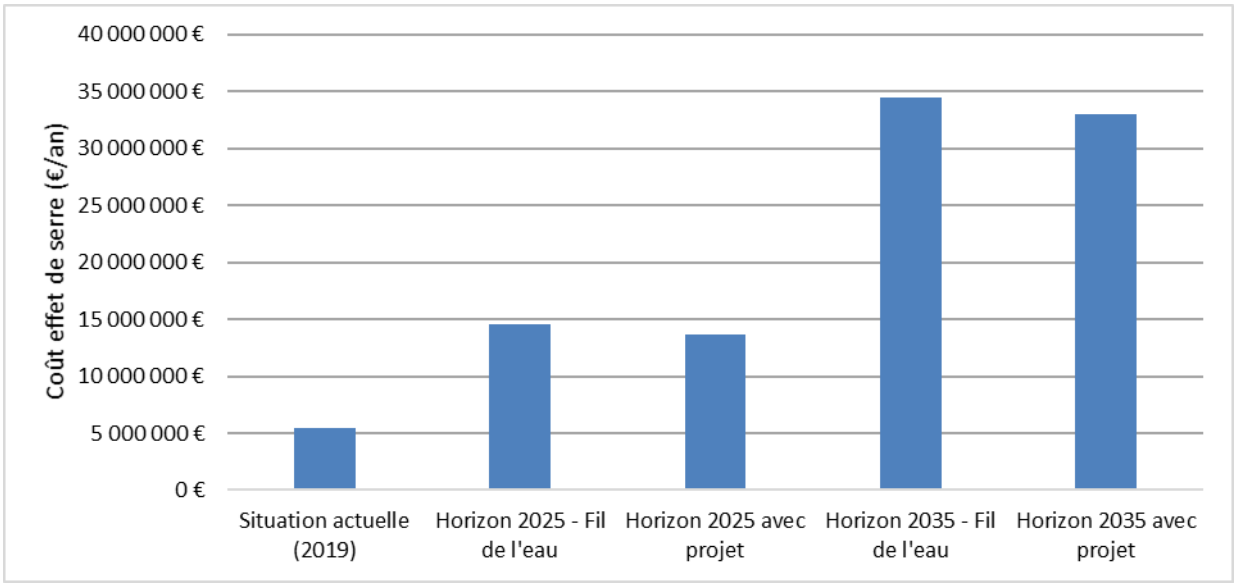
	CO_2 (tonnes/jour)	N_2O (tonnes/jour)	CH_4 (tonnes/jour)	GES équivalent CO_2 (t/j)
Situation actuelle (2019)	211	1.14E-02	2.90E-03	214
Horizon 2025 - Fil de l'eau	237	1.07E-02	2.00E-03	240
Horizon 2025 avec projet	223	1.07E-02	2.00E-03	226
Horizon 2035 - Fil de l'eau	253	9.50E-03	2.30E-03	256
Horizon 2035 avec projet	242	9.60E-03	2.30E-03	245

Les coûts liés à l'effet de serre, dus au trafic automobile, peuvent ensuite être évalués en appliquant les valeurs tutélaires du carbone aux émissions de GES en équivalent CO_2. Le Tableau 47 présente les coûts liés à l'effet de serre calculés pour chaque scénario, et représentés sous forme de diagramme sur la Figure 56.

Tableau 47 : coûts liés à l'effet de serre

	Coûts liés à l'effet de serre (€/j)	Coûts liés à l'effet de serre (k€/an)
Situation actuelle (2019)	14 816 €	5 408 k€
Horizon 2025 - Fil de l'eau	39 780 €	14 520 k€
Horizon 2025 avec projet	37 461 €	13 673 k€
Horizon 2035 - Fil de l'eau	94 295 €	34 418 k€
Horizon 2035 avec projet	90 252 €	32 942 k€

Figure 56 : coûts liés à l'effet de serre par an



Aux horizons futurs, les coûts liés à l'effet de serre diminuent d'environ 6 % pour la situation avec projet par rapport à la situation fil de l'eau en 2025 et de 4 % en 2035, conformément à la diminution des émissions.

7. IMPACT DU PROJET EN PHASE CHANTIER

La mise en service d'un projet routier passe par une phase chantier plus ou moins importante.
Les différentes sources de pollution atmosphériques possibles durant cette phase sont les suivantes :

- **Pollution issue des gaz d'échappement des engins** : ce sont principalement des engins diesel mobiles - tels que les engins de terrassement, compacteurs, tombereaux, etc.… - ou fixes – tels que les compresseurs, les groupes électrogènes, les centrales d'enrobage, etc.… Ces engins émettent à l'atmosphère de nombreux polluants liés à la combustion du carburant (NOx, composés organiques volatils, particules fines…). Cette source de pollution peut être limitée en utilisant des véhicules aux normes (échappement et taux de pollution).
- **Pollution liée aux procédés de travail mécaniques** : il s'agit des émissions de poussières et d'aérosols issues de sources ponctuelles ou diffuses sur les chantiers (utilisation de machines et d'appareils, transports sur les pistes, travaux de terrassement, extraction, transformation et transbordement de matériaux, vents tourbillonnants, etc.). Elles concernent les activités poussiéreuses telles que ponçage – fraisage – perçage – sablage – taille – aiguisage – extraction – concassage – broyage – jets en tas – rejets (au bout du tapis roulant) – tri – tamisage – chargement/déchargement – saisissement – nettoyage – transport. Ce type d'activité entraîne principalement des envols de poussières qui altèrent la qualité de l'air et salissent les parcelles et façades environnantes, ces poussières peuvent être très mal perçues par le voisinage.
  Cette source de pollution peut être limitée en arrosant les routes de chantier par temps sec et venteux, en appliquant un fond de roulage sur les routes de chantier, ou encore en bâchant les stocks et les camions.
- **Pollution liée aux procédés de travail thermiques :** il s'agit des procédés de chauffage (pose de revêtement) – découpage – enduisage à chaud – soudage – dynamitage, qui dégagent des gaz et des fumées. Sont particulièrement concernées les opérations telles que préparation (à chaud) du bitume (revêtements routiers, étanchéités, collages à chaud), ainsi que les travaux de soudage. Le traitement de produits contenant des solvants ou l'application de processus chimiques (de prise) sur les chantiers dégage notamment des solvants (activités : recouvrir – coller – décaper – appliquer des mousses – peindre – pulvériser). Cette pollution génère également des odeurs qui peuvent gênée les populations avoisinantes.
- **Pollution liée aux modifications de circulation induites par le chantier** : il s'agit de la pollution supplémentaire engendrée indirectement par le chantier du fait des phénomènes de congestion (une vitesse de circulation des véhicules entraîne une augmentation de la consommation de carburant et donc des émissions atmosphériques), des reports de trafic sur d'autres voies (déplacement de la pollution vers d'autres voies de circulation existantes)…

8. MESURES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

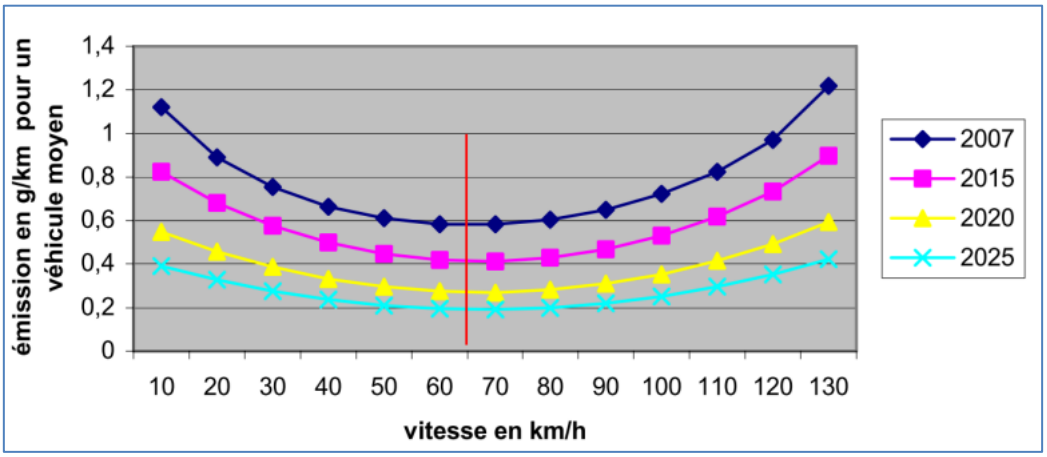
Au titre de la démarche « éviter-réduire-compenser » (ERC), l'évitement doit être d'abord privilégié, puisqu'il constitue la seule solution qui permet de s'assurer de l'absence d'impact du projet sur la qualité de l'air. Lorsque l'impact négatif n'a pas pu être totalement évité, des mesures de réduction sont alors à envisager. Différents procédés et techniques / aménagement peuvent permettre de limiter les émissions polluantes à la source ou de limiter la dispersion des polluants.

8.1.1 Réduction des émissions polluantes à la source

Il est possible d'influencer les émissions polluantes par une **modification des conditions de circulation** (limitation de vitesse à certaines périodes ou en continu, restrictions pour certains véhicules…).
Ces mesures relèvent de la législation des transports.

En particulier, la vitesse moyenne peut avoir une influence remarquable sur les émissions calculées. A titre d'exemple, le graphe ci-dessous montre la variation des émissions en NOx en fonction de la vitesse, pour un véhicule léger moyen en fonction de son année de mise en service.

Figure 57 : variation des émissions en NOx en fonction de la vitesse de circulation pour un véhicule léger (source : Cerema, 2016)



Ainsi que l'indique ce graphique, le facteur d'émission de NOx en g/km parcouru diminue d'environ 20 % pour des vitesses de parcours passant de 90 km/h à 70 km/h.

8.1.2 Implantation de zones tampon

Il est souvent conseillé de créer dans la mesure du possible des espaces entre les axes routiers et les bâtiments, espaces qui peuvent être valorisés en zone tampon.

On distingue deux types de pollution : la pollution gazeuse et la pollution particulaire.

A l'inverse des ondes sonores, qui peuvent être stoppées par un écran ou un talus antibruit, la pollution gazeuse ne peut pas être éliminée par un obstacle physique. On pourra tout au plus limiter les situations à risques en facilitant sa dilution ou déviation du panache de polluants d'un endroit vers un autre.

La diffusion de la pollution particulaire peut, quant à elle, être piégée par des écrans physiques et végétaux. Ces actions peuvent se faire de différentes façons :

- *Sur le tracé :*
  - **adaptation des profils en long** : pentes et tracés ;
  - **modulation du profil en travers de la route** : route en déblai ;
  - **utilisation d'enrobés drainants** : piégeage des particules.

- *Insertion d'obstacles physiques et mesures d'accompagnement :*
  - augmenter la profondeur des dépendances vertes et créer des **zones tampons** faisant office de piège à poussières ;
  - mise en place d'**écrans végétaux** en suivant ces critères :
    - distance du bord de la voie : 5 à 15 m,
    - profondeur minimale de 10 m et hauteur minimale de 2 m,
    - composition mixte (1/2 à 2/3 de conifères),
    - essences efficaces (liste non exhaustive) : pin de Corse, cyprès de Leyland, pin sylvestre, orme, tilleul, Alisier blanc, frêne, platane, érable champêtre, merisier, pin noir, thuya…

  La végétalisation des talus et des merlons peut suivre des caractéristiques équivalentes.

- *Mise en place d'écrans physiques autres (murs anti-bruit, merlon…)*
  - **consigne** : distance du bord de la voie de 0 à 5 m, hauteur minimale de 3,5 à 6 m suivant la distance à la voie.

8.1.3 Utilisation de process dépolluant

L'utilisation **d'enduits, béton ou d'enrobés dépolluants basés sur la technologie de la photocatalyse** (comme le dioxyde de titane TiO_2) pourrait également être envisagée pour la construction des bâtiments, sur les terrasses ou les murs acoustiques, ou encore à l'intérieur de tunnel.
Les polluants (pour le moment essentiellement les oxydes d'azote - NOx - ou les COV comme le benzène) sont, au contact de la surface, transformés grâce à l'absorption du rayonnement UV, en nitrates qui sont ensuite éliminés par la matrice cimentaire de l'enduit.

Cette solution est bien adaptée :
- aux chaussées et aménagements urbains,
- aux écrans acoustiques,
- aux entrées / sorties de tunnels,
- aux parements de façade.

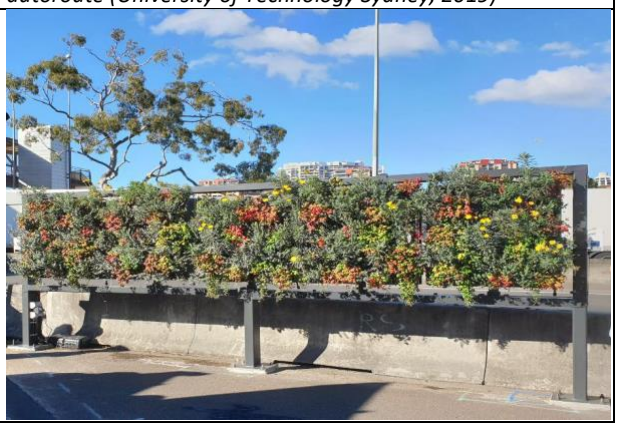
Néanmoins, ces enduits photo-catalytiques ne permettent pas de traiter la pollution particulaire. Il nécessite également un lavage à l'eau des surfaces traitées (en l'absence de pluie).

De plus, l'efficacité de ces produits reste limitée en proximité immédiate de la source de pollution (trafic routier) avec un taux d'efficacité très variable d'une référence à une autre.

8.1.4 Mise en place de panneaux/murs biofiltrants

Ce système, déjà utilisé dans le traitement des eaux usées, a été expérimenté pour la dépollution de l'air intérieur, puis en extérieur. La technique de biofiltration consiste à forcer le passage de l'air à traiter au travers d'un matériau filtrant dont le rôle est à la fois de capter les polluants, de favoriser le développement des bactéries et aussi de permettre le développement de végétaux en surface.

Figure 58 : systèmes de biofiltration d'air

Système installé sur le toit d'un tunnel routier (source : Ademe, 2015)	*Panneaux végétalisés biofiltrants installés le long d'une autoroute (University of Technology Sydney, 2019)*
	

9. SYNTHESE

Dans le cadre de l'étude d'impact du projet de ZAC du « Parc d'activités de la Rucherie » à Bussy-Saint-Georges (77), RIVIERE-LETELLIER a confié à ARIA Technologies la réalisation de l'étude Air et Santé au sens de la note méthodologique « Air et Santé[26] ».

L'étude Air et Santé prend également en compte le projet de diffuseur dit du Sycomore (réalisé par la SANEF).

L'étude Air et Santé suit les recommandations des documents suivants :

- Note technique du 22 février 2019 du Ministère de la transition écologique et solidaire (NOR TRET1833075N) 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. Cette note technique abroge la circulaire interministérielle DGS/SD 7 B n°2005-273 du 25 février 2005 ;
- Guide méthodologique sur le volet « air et santé » des études d'impact routières du Cerema du 22 février 2019, document annexe à 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.

Cette étude se déroule en deux temps :

3. L'état initial incluant des campagnes de mesures in-situ (rapport ARIA/20.046_V2) ;
4. L'étude « Air et Santé » proprement dite, présentant l'impact du projet sur la qualité de l'air la santé des populations.

Afin de déterminer les effets des projets sur la qualité de l'air, cinq scénarios sont étudiés :

- situation initiale (2019) ;
- situation « fil de l'eau » 2025 ;
- situation avec projet 2025 (incluant projet de ZAC de la Rucherie et diffuseur du Sycomore) ;
- situation « fil de l'eau » 2035 ;
- situation avec projet 2035.

Impact des projets sur la Qualité de l'air

Impact sur les émissions dans l'air

Entre la situation initiale (2019) et les situations « fil de l'eau » (2025 et 2035) et malgré une forte augmentation de trafic (25 % entre 2019 et 2035), l'évolution du parc routier entre 2019, 2025 et 2035 (mise en circulation de véhicules moins polluants, augmentation de la part des véhicules électriques, …) entraîne une baisse des émissions liées au trafic routier.

Aux deux horizons futurs (2025 et 2035), les émissions globales sur le domaine d'étude diminuent de manière significative pour la majorité des polluants entre la situation « fil de l'eau » et la situation avec projet. Les émissions les plus importantes sont observées sur l'autoroute A4 en corrélation avec le

[26] Note technique du 22 février 2019 du Ministère de la transition écologique et solidaire (NOR TRET1833075N) 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. Cette note technique abroge la circulaire interministérielle DGS/SD 7 B n°2005-273 du 25 février 2005

trafic routier sur cet axe. L'impact du projet de ZAC de la Rucherie sur les émissions reste négligeable devant les émissions de l'autoroute.

Conformément à l'évolution du trafic routier, les émissions augmentent sur les nouvelles voies et celles touchant le projet de diffuseur (boulevard des 100 Arpents, avenue du Général de Gaulle…). Les émissions diminuent sur l'autoroute A4, au niveau de l'échangeur de la D345, ainsi que sur la D345 et la D406. La mise en place du diffuseur du Sycomore est associée à une baisse de la vitesse de circulation sur cette portion de l'A4 passant de 130 km/h à 110 km/h. A trafic stable aux horizons 2025 et 2035, cette baisse de la vitesse de circulation entraine une diminution importante des émissions liées au trafic routier sur cette portion de l'A4. L'autoroute A4 étant le principal émetteur sur le domaine d'étude, **la réalisation du diffuseur du Sycomore associée à la baisse de la vitesse de circulation sur cette portion de l'autoroute entraîne donc une baisse globale des émissions sur le domaine d'étude.**

Impact sur les concentrations dans l'air

Les concentrations dans l'air imputables au trafic routier ont été estimées par une modélisation de la dispersion des émissions pour les cinq scénarios. Les résultats sont présentés au niveau de plusieurs points cibles et sous forme cartographique.

Pour la situation initiale (2019), les concentrations en NO_2 sont supérieures ou égales à la valeur limite fixée à 40 µg/m^3 par la réglementation française à proximité immédiate de l'autoroute. Les niveaux de concentrations diminuent rapidement en s'éloignant de cet axe. A noter que le bruit de fond est important : il représente plus de 50% des concentrations calculées pour le NO_2. Les concentrations en PM10 restent inférieures aux valeurs réglementaires françaises (objectif de qualité et valeur limite) sur tout le domaine d'étude, et en particulier au niveau des points cibles retenus. Les concentrations en PM2,5 restent inférieures à la valeur limite sur tout le domaine d'étude, et en particulier au niveau des points cibles, mais dépassent l'objectif de qualité, le bruit de fond en PM2,5 dépassant à lui seul cette valeur.

Les concentrations calculées à l'horizon 2035 sont plus faibles que celles calculées à l'horizon 2025 en raison des émissions qui baissent (évolution du parc routier entre 2025 et 2035, et mise en circulation de véhicules moins polluants). Les concentrations en NO_2 sont inférieures à la valeur limite fixée à 40 µg/m^3 par la réglementation française au niveau de tous les points cibles et sur tout le domaine d'étude. Les concentrations en PM10 et PM2,5 restent inférieures aux valeurs limites sur tout le domaine d'étude et en particulier au niveau des points cibles étudiés. L'objectif de qualité des PM2,5 est en revanche dépassé au niveau de tous les points cibles, le bruit de fond dépassant à lui seul cette valeur.

Compte tenu de la baisse de la vitesse de circulation sur l'autoroute A4 (130 à 110 km/h) au niveau du projet de diffuseur, les concentrations baissent sur cette portion de l'autoroute ce qui entraîne une légère diminution des concentrations au niveau des zones habitées.

Conclusion sur l'impact des projets sur la qualité de l'air :

En conclusion, le projet de diffuseur associé à la baisse de la vitesse de circulation sur l'autoroute A4 qui passe de 130 à 110 km/h entraîne une diminution des concentrations dans l'air le long de l'autoroute (principale émetteur de la zone d'étude) et au niveau des zones habitées de manière moins marquée selon sa distance à l'autoroute.

L'impact du projet de ZAC de la Rucherie sur la qualité de l'air reste négligeable devant l'impact de l'autoroute A4.

Impact des projets sur les populations

Indice Pollution Population (IPP)

L'indice Pollution Population (IPP) est un indicateur qui représente de manière synthétique l'exposition potentielle des personnes à la pollution atmosphérique due au projet routier et aux voies impactées par celui-ci.

Malgré une baisse des concentrations entre la situation initiale et les scénarios « fil de l'eau » aux horizons 2025 et 2035, l'IPP global augmente de +30% à +50%. Les futurs projets d'aménagement prévus sur la zone (quartier du Sycomore et projet à l'entrée de la ville de Bussy-Saint-Georges) apportent de nouveaux habitants qui expliquent l'augmentation de l'IPP aux horizons futurs.

Aux horizons futurs, l'IPP global diminue de -2,5% entre la situation fil de l'eau et la situation avec projet à l'horizon 2025, et de -1,4% à l'horizon 2035 conformément à la baisse des concentrations.

A l'horizon 2035, la mise en place des projets entraînent une exposition des populations résidentes dans la bande d'étude à des concentrations en NO_2 plus faibles qu'à l'horizon fil de l'eau.

Evaluation des risques sanitaires

L'évaluation des risques sanitaires a été menée conformément à la note technique TRET1833075N du ministère de la transition écologique et solidaire et du ministère des solidarités et de la santé du 22 février 2019 et au guide « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013.

Les substances prises en compte dans l'ERS sont celles retenues par l'annexe de la note technique TRET1833075N du 22/02/2019. L'évaluation des risques sanitaires est réalisée pour quatre scénarios d'exposition exposés ci-dessous.

Tableau 48 : récapitulatif des scénarios retenus

Scénario	Durée d'exposition	Voies d'exposition	Valeurs retenues
Scénario Habitant Majorant	100 % du temps passé sur la zone (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	Inhalation Ingestion	Concentration au niveau de la zone habitée la plus exposée de la bande d'étude. Dépôts au niveau des jardins partagés de Ferrières.
Scénario Habitant Moyen	100 % du temps passé sur la zone (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	Inhalation	Concentration à laquelle 50 % des habitations sont exposées.
Scénario Travailleur	100 % du temps passé sur la zone : - 10h/jour dans la ZAC de la Rucherie - 14h/jour en zone habitée (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	Inhalation	Concentration au niveau du point le plus exposé de la ZAC de la Rucherie. Concentration au niveau de la zone habitée la plus exposée de la bande d'étude.
Scénario Maraîcher	100 % du temps passé de la zone de maraîchage (7J/7, 365 jours/an => approche majorante)	Inhalation Ingestion	Concentrations et dépôts au niveau de la zone de maraîchage.

Le NO_2 et les poussières (PM10 et PM2,5) ne disposent pas de valeur de référence applicable mais des valeurs guides ont été fixées par l'OMS (2005) pour évaluer l'impact des émissions sur la qualité de l'air et la santé des populations exposées. Pour ces substances, les concentrations modélisées sont simplement comparées aux valeurs guides conformément à la note d'information de la DGS d'octobre 2014.

Evaluation en risque chronique :

- Les concentrations aux horizons futurs respectent les recommandations de l'OMS pour le dioxyde d'azote et les poussières PM10. La valeur guide de l'OMS est dépassée pour les PM2.5, en raison de la valeur de bruit de fond retenue qui dépasse à elle seule la valeur guide OMS.
- Pour les risques à seuil, les Quotients de danger sont très inférieurs à la valeur repère égale 1 quels que soit le scénario et la situation étudiée. Ils sont sensiblement du même ordre de grandeur quelle que soit la situation observée, avec une baisse pour les horizons futurs 2025 et 2035.
- Pour les risques sans seuil, les excès de Risque Individuel calculés pour chaque traceur du risque sont inférieurs à la valeur repère égale à 1.10^{-5} excepté pour le benzène pour lequel les ERI sont supérieurs à la valeur repère compte tenu du bruit de fond pris en compte qui la dépasse à lui seul (ERI Bruit de fond = $2,3.10^{-5}$). Quel que soit le scénario étudié, les ERI diminuent entre la situation initiale et les situations aux horizons futurs.

Evaluation en risque aigu :
Les concentrations en dioxyde d'azote et en poussières PM10 et PM2.5 respectent les recommandations de l'OMS.

Conclusion sur l'impact des projets sur la santé des populations :

En conclusion, les populations résidentes ou travaillant dans la bande d'étude sont globalement exposées à des concentrations plus faibles avec la mise en place des projets.

Les risques sanitaires estimés pour les traceurs de risques restent stables entre les scénarios fil de l'eau et les scénarios avec projet. La mise en place des projets n'a donc pas d'impact significatif sur les risques sur la santé des populations.

Les risques sanitaires calculés restent cependant élevés pour les effets sans seuil en raison de la pollution de fond en benzène qui entraîne à elle seule un dépassement de la valeur repère.

ANNEXES

Annexe 1 : Généralités sur la pollution atmosphérique

Définition

La directive du 30 décembre 1996 sur la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie donne la définition suivante de la pollution atmosphérique :
"La pollution atmosphérique est l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre la santé humaine en danger, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives."

La directive européenne n°96/62/CE du Conseil du 27 septembre 1996 donne les définitions de termes souvent utilisés dans le domaine de la qualité de l'air :

- ***Air ambiant :*** L'air extérieur de la troposphère, à l'exclusion des lieux de travail.
- ***Polluant :*** Toute substance introduite directement ou indirectement par l'homme dans l'air ambiant et susceptible d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble.

Origine de la pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est d'origine très diverse. Elle peut provenir des industries, des activités domestiques ou encore du trafic routier. Il existe plusieurs types de pollution atmosphérique :

La pollution urbaine
Elle affecte principalement la santé humaine. En effet, l'exposition à plusieurs substances indésirables simultanément augmente leurs effets nocifs. La pollution urbaine détériore aussi les bâtiments par corrosion et salissure.

La pollution à l'échelle régionale
Les pluies acides : Elles sont dues à la formation d'acides nitriques et sulfuriques formés par combinaison de pluie et d'oxydes d'azote et de soufre. Ces polluants proviennent des rejets en zones urbaines. Les pluies acides sont l'une des causes du dépérissement des lacs et des forêts (par les dépôts acides, secs et humides).

La pollution photochimique ou smog
Elle provient principalement des véhicules. Les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone et les carbones organiques volatils sont à l'origine de la formation de l'ozone troposphérique (basse altitude) et du PAN (Peroxyacétylenitrate). Il y a formation de brouillard ou smog lorsque les concentrations en ozone ("mauvais ozone") dans l'air ambiant sont élevées.

La pollution à l'échelle planétaire
La destruction de la couche d'ozone : La disparition progressive de la couche d'ozone stratosphérique (à haute altitude) provient de l'action du chlore et du brome gazeux issu des activités domestiques. En s'amoindrissant, la couche d'ozone, appelée "bon ozone", pourrait engendrer des pathologies telles que des cancers de la peau, car les radiations U.V. ne sont plus filtrées par la couche.

La modification de l'effet de serre : L'effet de serre est causé par l'accumulation de certains gaz, ce qui entraîne un échauffement de l'atmosphère. Ce phénomène est naturel, mais une accumulation trop grande de ces gaz pourrait entraîner des modifications climatiques importantes.

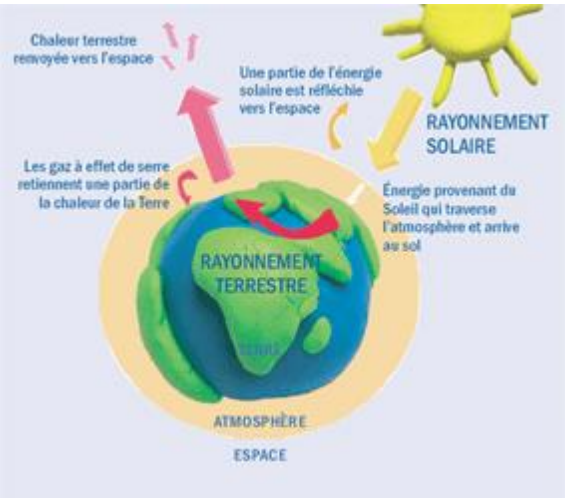
Principaux phénomènes

L'effet de serre

L'effet de serre naturel, qui permet à la Terre d'être habitable, est accru par certains gaz émis par les activités humaines, dits gaz à effet de serre (GES). Le réchauffement climatique observé à l'échelle de la planète en est la conséquence. Le dioxyde de carbone (CO_2) est le principal représentant des gaz à effet de serre, mais il n'est pas le seul : on peut aussi citer par exemple le méthane (CH_4) ou le protoxyde d'azote (N_2O).

Contrairement aux gaz à effet de serre, la pollution dans l'air a un effet local direct sur la santé et sur l'environnement. En France, elle est surveillée par des associations indépendantes comme AIRPARIF. Les principaux polluants qui posent problème en région parisienne sont le dioxyde d'azote, les particules et l'ozone.

Figure 59 : phénomène « l'effet de serre » (source : AIRPARIF)



La pollution photochimique

La pollution photochimique désigne un mélange complexe de polluants formés chimiquement dans l'air, sous l'effet du rayonnement solaire, à partir de composés précurseurs émis par des sources naturelles et les activités humaines (oxydes d'azote (NOx), composés organiques volatils (COV), monoxyde de carbone (CO)). Le principal polluant photochimique est l'ozone (O_3).

La production photochimique résulte de la dissociation du dioxyde d'azote (PM10) par le rayonnement ultraviolet, cette réaction constituant la principale source d'oxygène atomique (O) dans les basses couches de l'atmosphère :

$$NO_2 + h \cdot \nu \Rightarrow O + NO$$

l'oxygène atomique se combinant à l'oxygène moléculaire (O_2) pour former l'ozone :

$$O + O_2 \Rightarrow O_3$$

et la production d'ozone étant toutefois limitée par sa réaction sur le monoxyde d'azote :

$$NO + O_3 \Rightarrow NO_2 + O_2$$

La production d'ozone est donc très dépendante de l'ensoleillement, et des conditions météorologiques, de sorte que la production des polluants photochimiques est favorisée au printemps ou en été. Le cycle photochimique chimique de formation et de destruction de l'ozone présente un caractère non linéaire d'où sa complexité. En effet une abondance des émissions des oxydes d'azote (NOx), précurseurs d'ozone, peut nuire à l'accumulation d'O_3, et la pollution photochimique peut se

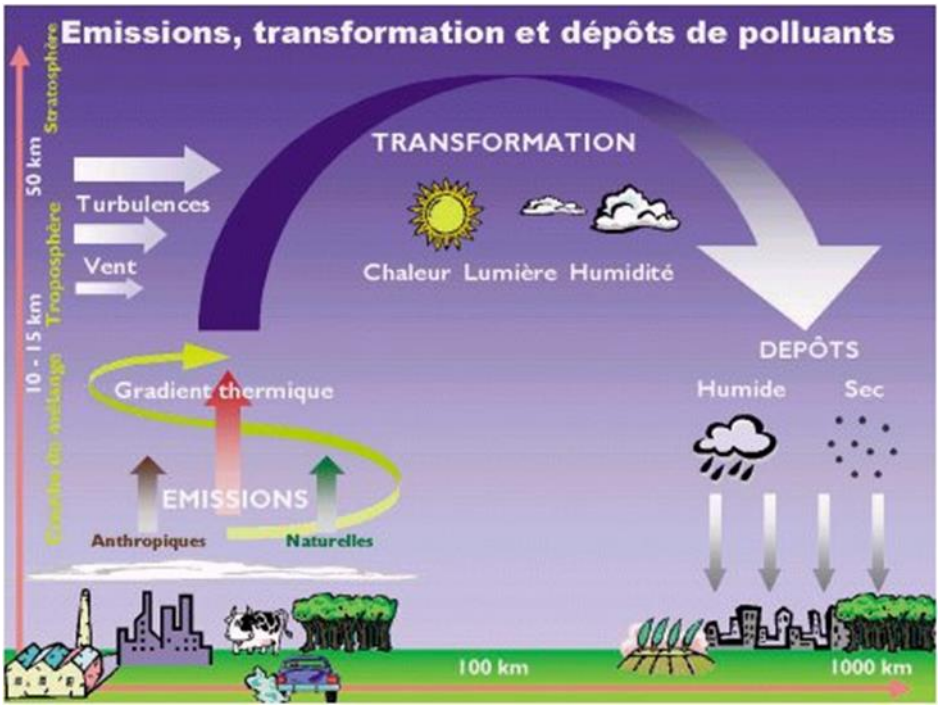
manifester plus amplement loin des émissions de précurseurs. En milieu urbain, où les émissions de (NOx) sont importantes du fait du trafic automobile et des foyers de combustion, l'ozone formé sur place peut être rapidement détruit. Ceci explique que les taux maxima de pollution sont généralement mesurés en zones périurbaines ou rurales sous le vent des panaches urbains.

L'acidification

La pollution acide (ou pluies acides) est liée aux polluants acides (SO_2, NOx, NH_3, HCl, HF) émis par les activités humaines qui retombent en partie à proximité des sources, mais aussi à des centaines, voire des milliers de kilomètres de leurs sources émettrices. Ces polluants retombent sous forme de retombées sèches ou humides. Pendant le transport, ces polluants se transforment. SO_2 et NOx se transforment en sulfates (SO_4^{2-}) et en nitrates (NO_3^{2-}) dans le cas où l'atmosphère est sèche, ainsi qu'en acide sulfurique (H_2SO_4) et en acide nitrique (HNO_3) dans le cas où l'atmosphère est humide.
Les phénomènes de pollution acide à grande échelle ont été mis en évidence par l'acidification des eaux des lacs Scandinaves et Canadiens. Le pH des eaux est devenu acide entraînant des modifications importantes de la faune piscicole. Certaines pluies ont un pH compris entre 3 et 4 alors que l'eau pure a un pH de 5,6.

Les retombées acides ont des effets sur les matériaux, les écosystèmes forestiers et les écosystèmes d'eau douce.

Figure 60 : phénomène d'acidification (source : CITEPA)



La dispersion des polluants atmosphériques

Les concentrations, en polluant dans l'atmosphère, peuvent fluctuer dans le temps et dans l'espace suivant :

- **l'intensité des émissions** des différentes activités qui varie dans le temps : en hiver le chauffage est important, le trafic routier est quasiment nul la nuit…
- la **topographie locale** qui peut favoriser ou non le déplacement des masses d'air,
- les **conditions météorologiques** : les vents forts peuvent entraîner un rabattement du panache des cheminées, les vents calmes limitent la dispersion des polluants,
- la **structure thermique de l'atmosphère** : une inversion thermique de température (ci-contre) limite la dispersion des polluants.

La topographie locale

La topographie d'un site peut influencer la circulation des masses d'air. Par exemple, les rues canyon, les bords de mer et les vallées peuvent modifier la dispersion des polluants.

Le littoral : la nuit, les masses d'air ne se déplacent pas dans le même sens que de jour. En effet, durant la journée la brise de mer ramène les polluants sur les côtes. Mais de nuit, ce phénomène s'inverse car le sol se refroidit plus vite que la mer. La pollution est alors envoyée sur la mer.

Le jour : brise de mer

La nuit : brise de terre

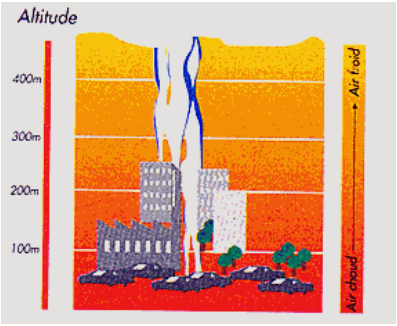
Les vallées : les masses d'air ne se déplacent pas dans le même sens de jour et de nuit. En effet, le jour l'air s'échauffe sur les pentes et crée un courant qui remonte la vallée. Les polluants se dispersent rapidement. Mais de nuit, ce phénomène s'inverse : l'air froid s'écoule le long des pentes et s'accumule au fond de la vallée, tout en la descendant. La pollution évacuée dans la journée est alors ramenée dans la vallée la nuit.

Le jour: brise montante

La nuit : brise descendante

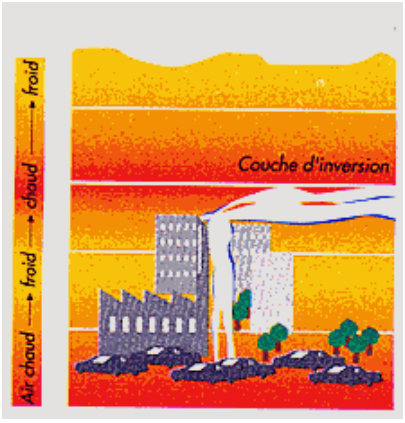
La structure thermique de l'atmosphère

La structure thermique verticale de la troposphère peut varier suivant les jours et les heures.



En **situation normale de diffusion**, la température diminue avec l'altitude. La structure thermique de l'atmosphère ne freine pas la diffusion des polluants.

Parfois, à partir d'une certaine hauteur, la température peut augmenter avec l'altitude. Il y a alors **inversion thermique** : une couche d'air chaud se trouve au-dessus d'une couche d'air plus froid. L'air pollué, qui se disperse vers le haut en situation normale de diffusion, est alors bloqué par cette couche d'air plus chaud qui agit comme un couvercle thermique.



Ce phénomène contribue à la pollution locale et peut conduire à la formation de dôme urbain de pollution. Il se rencontre lors de conditions météorologiques particulières :

- en début de matinée, suite à une nuit dégagée et sans vent,
- en hiver, lors de conditions anticycloniques.

Annexe 2 : Description du logiciel ARIA Impact

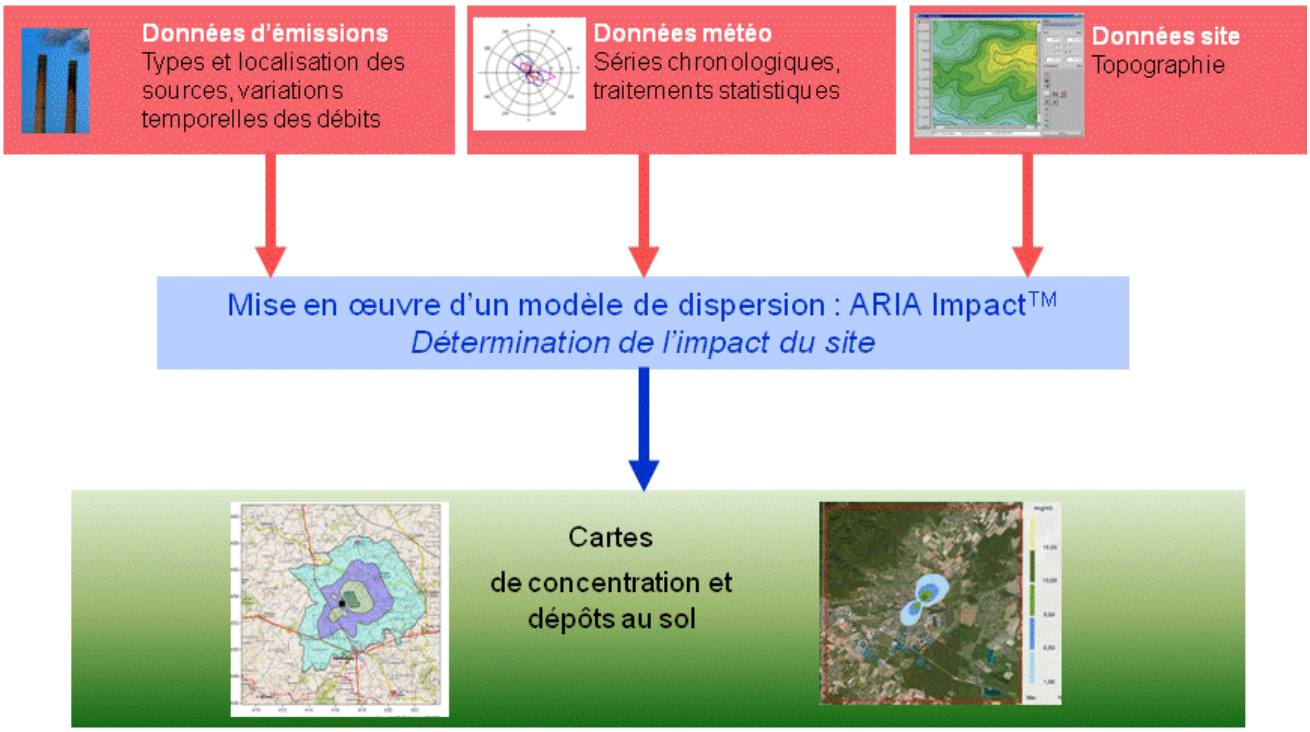
Présentation générale

ARIA Impact™ est un modèle de type "gaussien", conforme aux recommandations de l'E.P.A.[27]. ARIA Impact **répond également aux prescriptions de l'INERIS** pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du Guide méthodologique INERIS : Evaluation des Risques Sanitaires liés aux substances chimiques dans l'Etude d'Impact des ICPE). C'est un logiciel de modélisation de la pollution atmosphérique qui permet de répondre à l'ensemble des éléments demandés par la législation française sur la qualité de l'air et européenne, et de fournir les éléments indispensables à :

- l'évaluation des risques sanitaires d'une installation industrielle (moyenne annuelle, centiles, dépôts),
- l'évaluation de l'impact olfactif (concentration d'odeurs, fréquences de dépassement de seuil),
- l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air d'un aménagement routier (moyenne annuelle, centiles).

ARIA Impact™ permet d'étudier **l'impact à long terme** d'une installation en reconstruisant l'impact statistique des émissions à partir d'une chronique météorologique réelle de plusieurs années. Cette approche donne, sur de longues périodes, des résultats cohérents avec les observations des réseaux de la surveillance de la qualité de l'air pour des distances supérieures à 100 mètres.

Le schéma ci-dessous présente la démarche qui est mise en œuvre dans les études d'impact :



[27] Agence de l'environnement américain (Environment Protection Agency).

Fonctionnalités techniques

Logiciel multi-espèces et multi-sources

ARIA Impact™ permet de modéliser la dispersion de :

- de **polluants gazeux** (NOx, SO_2…) : dispersion passive pure sans vitesse de chute ;
- de **polluants particulaires** (PM10, métaux lourds, dioxines…) : dispersion passive et prise en compte des effets gravitaires en fonction de la granulométrie. Les poussières sont représentées sur un nombre arbitraire de classes de taille : si la granulométrie des émissions est connue, des calculs détaillés peuvent être effectués.
- des **odeurs** : mélange de molécules odorantes dont la composition est inconnue, exprimée en unité d'odeur ;
- de **polluants radioactifs**.

Plusieurs types de sources et de polluants peuvent être pris en compte en même temps dans une même modélisation :

- Des **sources ponctuelles** industrielles (incinérateur, centrale thermique…),
- Des **sources diffuses** ou volumiques (atelier de peinture, carrières…),
- Des **sources linéiques** (trafic automobile).

Choix de la météorologie adaptée à la complexité de l'étude

Plusieurs types de modélisation sont possibles avec le logiciel ARIA Impact™ :

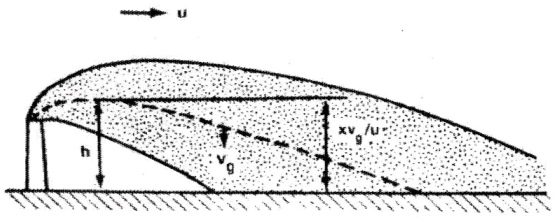
- **Modélisation pour une situation particulière** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques pour une situation météorologique fixée par l'utilisateur (modélisation pour une vitesse de vent et une direction de vent données). Ce mode de calcul peut être utilisé par exemple pour étudier un cas de dysfonctionnement associé à une situation météorologique défavorable, une phase de démarrage, ou encore pour comparer des scénarios d'émissions entre eux.
- **Modélisation statistique depuis une rose des vents :** il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en prenant en compte les fréquences d'occurrence d'une rose des vents général. Il est alors possible de calculer des moyennes annuelles, le centile 100 ou des fréquences de dépassement de seuil. Ce mode de calcul est bien adapté pour les polluants gazeux et si la marche de production et d'émissions est constante sur l'année.
- **Modélisation statistique à partir d'une base météorologique complète** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en prenant en compte une base complète de données météorologiques. Dans ce cas, un calcul académique est réalisé pour chaque échéance météorologique de la base de données. Il est alors possible de calculer des moyennes annuelles, des centiles (98, 99.5 etc…) ou des fréquences de dépassement de seuil. Les statistiques sont donc réalisées à partir de la modélisation de chaque séquence météorologique horaire sur plusieurs années (8760 situations météo sur une année) ce qui permet de bien tenir compte des variations diurnes et saisonnières des concentrations.

Variation temporelle des émissions

ARIA Impact™ permet de prendre en compte les variations temporelles des émissions. Les émissions peuvent varier en fonction de l'heure, du jour et du mois de l'année.
Il est également possible d'intégrer des périodes de fonctionnement particulières (arrêt technique, panne de fonctionnement du système de traitement des gaz…).

Dépôts au sol

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



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

Dispersion par vents calmes

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

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

Reconstitution de profils verticaux météorologiques

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

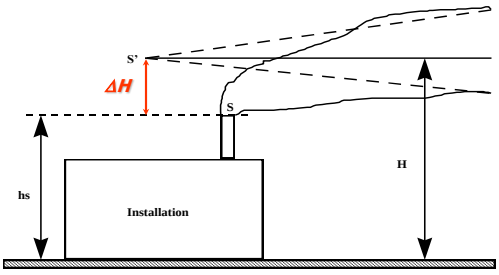
Afin de prendre en compte cette variation de vitesse de vent dans les calculs de la dispersion des polluants atmosphériques, le logiciel ARIA Impact™ peut calculer des profils verticaux de vent en fonction des mesures de vent au sol, de la turbulence atmosphérique et de l'occupation des sols, afin de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

Prise en compte de la couche de mélange

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

Surélévation de panache issu de cheminée

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



Conversion des NOx en NO et NO_2

Dans le cas de la modélisation des émissions liées au trafic automobile, ARIA Impact™ contient un algorithme simple permettant de calculer les concentrations en NO et NO_2 à partir des concentrations en NOx, à l'aide de la formule de conversion de Middleton.

Prise en compte simplifiée de la topographie

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

Envols de poussières

ARIA Impact™ contient un module spécifique pour le calcul des envolées de poussières fines, dans le cas d'un **stockage de poussières exposé au vent**.
Cette option permet d'estimer la quantité de poussières émises par une source surfacique en fonction de la rafale de vent, puis de modéliser la dispersion de ces poussières. Il peut s'agir par exemple d'un tas de charbon dont, par vent fort, les poussières fines vont s'envoler. Le calcul de la quantité émise de poussières passe par l'estimation du potentiel d'érosion du stockage, puis des facteurs d'émission fonction de la rafale de vent.

Résultats

Grandeurs calculées

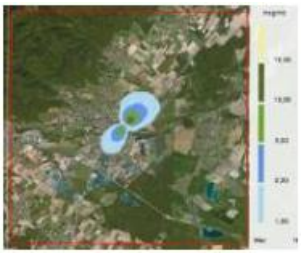
ARIA Impact™ permet de calculer les grandeurs suivantes :

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

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

Cartographies

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



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

Validation du logiciel ARIA Impact™

L'association RECORD (Recherche coopérative sur les déchets et l'environnement) a demandé à l'Ecole Centrale de Lyon une étude sur les logiciels de modélisation utilisés dans le cadre des études d'impact air pour des industriels. Dans le cadre de cette étude, des comparaisons du modèle ARIA Impact™ ont été réalisées sur les cas-tests de l'outil européen d'évaluation « Model Validation kit ». Cet outil est utilisé pour évaluer les modèles de dispersion atmosphérique. Il s'agit d'une série de cas-tests intégrant des jeux de mesures de terrain qui sont largement référencés dans la validation des modèles. L'évaluation des modèles sur des cas-tests consiste à comparer les résultats d'un modèle à des mesures de terrain représentatives de situations simples. La synthèse du rapport rédigé par l'Ecole Centrale de Lyon est téléchargeable sur le site Internet de l'association RECORD[28].

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

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

Limite du modèle

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

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

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

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

Annexe 3 : Détermination des concentrations dans les sols et les végétaux

Cette annexe présente les modes de calculs des concentrations en composés dans les milieux auxquels les personnes sont exposées, à partir des données de la modélisation selon la méthode de l'EPA (HHRAP)[29].

Dans cette approche de l'EPA, les dépôts modélisés sont supposés s'accumuler sur le sol au cours du temps sans aucun phénomène d'atténuation (lixiviation, érosion, dégradation, ...) et la concentration de polluants dans le sol est obtenue par calcul de la dilution dans le sol de la quantité de composés déposés dans la couche de sol considérée. Il s'agit donc d'une **approche majorante simplifiée**.

Détermination des concentrations dans les sols

Il s'agit de déterminer la concentration dans les sols à partir des dépôts calculés par modélisation de la manière suivante :

$$C_{sol} = \frac{D \times T}{\rho \times h}$$

Avec :

C_{sol} : concentration dans le sol (mg/kg)
D : quantité de dépôt sur le sol (mg/m^2/an)
T : durée d'exposition (année)
ρ : densité du sol (kg/m^3)
h : hauteur du sol (m)

Les concentrations dans les sols sont calculées en prenant les hypothèses et paramétrages suivants :

- densité de sol sec : ρ=1 300 kg/m^3
- durée d'exposition : T= 30 ans

Les concentrations dans le sol ont été calculées :

- dans la couche superficielle de **1 cm d'épaisseur**, dans les zones d'habitation et de pâturages, pour l'ingestion directe de poussières (homme et animaux),
- dans la couche superficielle de **20 cm d'épaisseur**, dans les zones d'habitations ou de culture, où sont cultivés les végétaux,
- dans la couche superficielle de **10 cm d'épaisseur** au niveau des zones de pâturage et dans laquelle se trouvent les racines de l'herbe (valeur proposée dans la mise à jour de décembre 2004 du rapport GT-GIC30).

[29] EPA. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion facilities. July 1998. EPA530-D-98-001A.

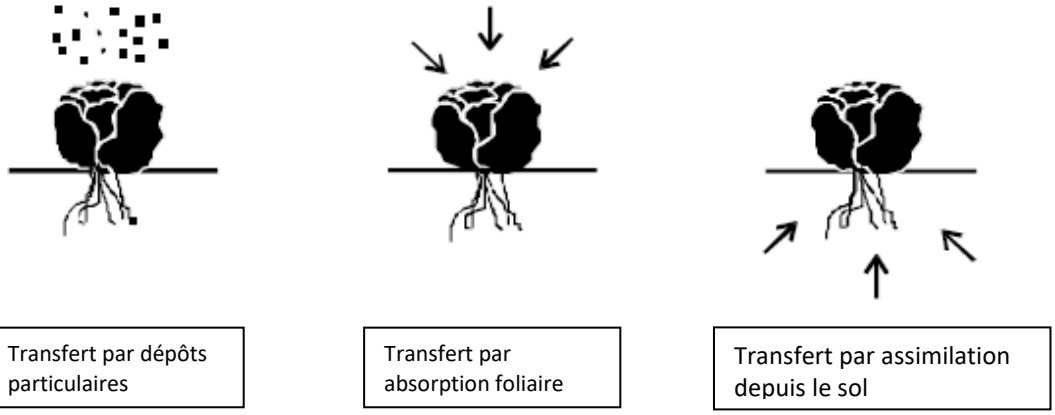
[30] « Mise à jour de l'étude de l'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion », INERIS, Décembre 2004

Détermination des concentrations dans les végétaux

La contamination des végétaux a trois origines (cf. Figure 61) :

- les dépôts de polluants sur les parties aériennes provenant des retombées atmosphériques et de ré-envol de poussières,
- l'absorption foliaire de certains polluants gazeux par les feuilles de la plante,
- l'assimilation des polluants par la plante depuis le sol, par les racines, puis la diffusion dans tout le végétal.

Figure 61 : contamination des végétaux (EPA, 1998)



Transfert lié aux dépôts particulaires sur les plantes

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans la plante liée au dépôt particulaire est calculée par la formule suivante :

$$C_{dp} = D \times R_p \times \frac{1 - e^{(-k_p \times T_p)}}{Y_p \times k_p} \times t_{ms}$$

Avec :
C_{dp} : concentration dans les plantes due au phénomène de déposition (mg/kg frais)
D : quantité de dépôt sur le sol (mg/m^2/an)
R_p : fraction interceptée par les cultures (-)
k_p : coefficient de perte sur la surface de la plante (année^{-1}) - effet « weathering »
Tp : durée de culture (année)
Yp : rendement de production (kg sec/m2)
tms : teneur en matière sèche de la plante (-)

Les facteurs relatifs aux végétaux utilisés sont issus des rapports de l'INERIS[31/32] et sont présentés dans le Tableau 49.

31 INERIS. Evaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion, INERIS (mai 2003).

32 « Mise à jour de l'étude de l'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des tranches charbon d'une grande installation de combustion », INERIS, Décembre 2004

Tableau 49 : facteurs relatifs aux végétaux

Type de plante	t_{ms}	Yp (kg sec /m²)	Rp	Kp (an^{-1})	Tp (an)
Légumes-racines	0,2	-	-	-	-
Légumes-feuilles	0,086	0,246	0,215	18	0,164
Légumes-fruits	0,063	10,52	0,996	18	0,164
Fruit	0,15	0,252	0,053	18	0,164
Herbe	0,2	0,24	0,5	18	0,12
Grains	0,882	-	-	-	-

Les concentrations dans la plante liées au dépôt particulaire sont calculées à partir des concentrations en polluant dans le sol au niveau des premières zones de culture.

Transfert lié à l'absorption foliaire

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans la plante liée à l'absorption foliaire est calculée par la formule suivante :

$$C_{gp} = C_a \times B_v \times F_v \times VG$$

Avec :
C_{gp} : concentration dans les plantes due à l'absorption foliaire (mg/kg frais)
C_a : concentration de polluant dans l'air (µg/m^3)
B_v : coefficient de bio-transfert air-plante (m^3/kg frais)
F_v : Fraction de polluant sous forme gazeuse (-)
VG : facteur correctif empirique (pour tenir compte du transfert réduit des polluants vers l'intérieur de la plante à vocation alimentaire et de la réduction de la contamination due aux techniques de préparation).
VG = 0,01 pour les polluants ayant un coefficient de partage octanol-eau (Kow) supérieur à 10 000 et VG = 1 pour les polluants ayant un coefficient de partage octanol-eau inférieur à 10 000.

Les facteurs de bioconcentration air/plante (B_v) utilisés sont présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et sont issus de préférence de la base de données HHRAP (EPA, 2005). Les données HHRAP ont été privilégiées pour la transparence des sources d'informations et sa mise à jour récente.

Tableau 50 : facteurs de bioconcentration air/plante (B_v exprimés par rapport à la plante fraîche)

	Bv air/feuille	Bv air/leg-fruit	Bv air/fruit	Bv air/herbe	
unité	m^3/kg frais	m^3/kg frais	m^3/kg frais	m^3/kg frais	Source
Benzo(a)pyrène	24 948	7 859	18 711	24 948	HHRAP 2005

Les concentrations dans l'air sont celles calculées par le modèle de dispersion et présentées dans la partie 4.3.

Transfert lié à l'assimilation des polluants par la plante

Selon les équations de l'US-EPA (HHRAP), la concentration dans la plante est calculée par la formule suivante :

$$\boldsymbol{C_{rp} = B_r \times C_s}$$

Avec :
C_{rp} : concentration dans la plante due au transfert sol/plante (mg/kg frais)

C_s : concentration dans le sol (mg/kg sol sec), dans les 20 premiers cm pour les racines, les feuilles, les fruits, les grains, et dans les 10 premiers cm pour l'herbe.
B_r : facteur de bio concentration sol/plante spécifique, dans les racines, les feuilles, les fruits, les grains du végétal, l'herbe (mg/kg frais ou sec de plante / mg/kg de sol sec).

Les facteurs de bioconcentration sol/plante (B_r) utilisés sont présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et sont issus de préférence de la base de données HHRAP (EPA, 2005) et, à défaut de l'étude réalisée par le Groupe Radioécologie Nord-Cotentin (1999)[33]. Les données HHRAP ont été privilégiées pour la transparence des sources d'informations et sa mise à jour récente.

Tableau 51 : facteurs de bioconcentration sol/plante (B_r exprimés par rapport à la plante fraîche)

	Br sol/racine	Br sol/feuille	Br sol/leg-fruit	Br sol/fruit	Br sol/grain	Br sol/herbe	
unité	kg sol sec/kg frais de plante						Source biblio
Benzo(a)pyrène	1.21E-02	1.14E-03	8.32E-04	1.98E-03	1.16E-02	2.64E-03	HHRAP 2005

Les concentrations dans les végétaux sont calculées à partir des concentrations en polluant dans le sol au niveau des premières zones de culture.

Contamination totale des plantes

La contamination totale des plantes correspond à la somme des concentrations dans les plantes calculées par le transfert sol/plante, par le transfert air/plante et liées au dépôt de particules :

$$C_p = C_{dp} + C_{gp} + C_{rp}$$

Avec :
C_p : concentration totale dans les plantes (mg/kg frais)
C_{dp} : concentration dans les plantes due au phénomène de déposition (mg/kg frais)
C_{gp} : concentration dans les plantes due à l'absorption foliaire (mg/kg frais)
C_{rp} : concentration dans la plante due au transfert sol/plante (mg/kg frais)

[33] GNRC, Rapport détaillé du GT3 (source : IPSN/DPHD/SAER) – 1999 et son annexe VIII-2
GNRC, Karine Beaugelin-Seiller, Adaptation du modèle de transfert GT3-GRNC dans un écosystème agricole aux polluants inorganiques non radioactifs – Paramètres [1] de transfert, Rapport IPSN DPRE/SERLAB/01-39

Annexe 4 :
Détail des quotients de danger calculés

Tableau 52 : Quotient de danger – Scénario Habitant Moyen

			Scénario Habitant Moyen									
Organe /Système cible	**Substance**	**Voie d'exposition**	**Situation Initiale**		**Situation de Référence 2025**		**Situation Projet 2025**		**Situation de Référence 2035**		**Situation Projet 2035**	
			Enfant	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**
Développement	benzo(a)pyrène	Inhalation	1.6E-01		1.6E-01		1.6E-01		1.6E-01		1.6E-01	
	benzo(a)pyrène	ingestion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Arsenic	Inhalation	1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02	
	QD Développement		**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**
Système immunitaire	Benzène	Inhalation	9.3E-02		9.2E-02		9.2E-02		9.1E-02		9.1E-02	
Système respiratoire	Chrome VI	Inhalation	3.1E-04		2.6E-04		2.5E-04		2.3E-04		2.2E-04	
	Nickel	Inhalation	4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03	
	QD Système respiratoire		**4.3E-03**		**4.3E-03**		**4.3E-03**		**4.2E-03**		**4.2E-03**	
Effet sur la fertilité	1,3 butadiène	Inhalation	9.9E-03		6.9E-03		5.9E-03		3.6E-03		3.1E-03	
Valeur repère			**1**									

Tableau 53 : Quotient de danger – Scénario Habitant Majorant

			Scénario Habitant Majorant									
Organe /Système cible	**Substance**	**Voie d'exposition**	**Situation Initiale**		**Situation de Référence 2025**		**Situation Projet 2025**		**Situation de Référence 2035**		**Situation Projet 2035**	
			Enfant	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**
Développement	benzo(a)pyrène	Inhalation	1.8E-01		1.7E-01		1.7E-01		1.7E-01		1.7E-01	
	benzo(a)pyrène	ingestion	2.2E-03	8.1E-04	2.2E-03	8.1E-04	2.2E-03	6.7E-04	1.7E-03	6.8E-04	1.7E-03	1.1E-03
	Arsenic	Inhalation	1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02	
	QD Développement		**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**
Système immunitaire	Benzène	Inhalation	9.6E-02		9.4E-02		9.4E-02		9.2E-02		9.2E-02	
Système respiratoire	Chrome VI	Inhalation	7.9E-04		6.7E-04		6.5E-04		5.8E-04		5.7E-04	
	Nickel	Inhalation	4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03	
	QD Système respiratoire		**4.8E-03**		**4.7E-03**		**4.7E-03**		**4.6E-03**		**4.6E-03**	
Effet sur la fertilité	1,3 butadiène	Inhalation	2.2E-02		1.4E-02		1.4E-02		7.3E-03		7.1E-03	
Valeur repère			**1**									

Tableau 54 : Quotient de danger – Scénario Maraîcher

			Scénario Maraîcher									
Organe /Système cible	**Substance**	**Voie d'exposition**	**Situation Initiale**		**Situation de Référence 2025**		**Situation Projet 2025**		**Situation de Référence 2035**		**Situation Projet 2035**	
			Enfant	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**
Développement	benzo(a)pyrène	Inhalation	1.7E-01		1.7E-01		1.7E-01		1.7E-01		1.7E-01	
	benzo(a)pyrène	ingestion	3.4E-03	1.1E-03	3.2E-03	1.0E-03	3.0E-03	8.6E-04	2.4E-03	8.5E-04	2.4E-03	8.5E-04
	Arsenic	Inhalation	1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02	
	QD Développement		**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**
Système immunitaire	Benzène	Inhalation	9.0E-02		9.0E-02		9.0E-02		9.0E-02		9.0E-02	
Système respiratoire	Chrome VI	Inhalation	3.7E-04		3.2E-04		2.8E-04		2.5E-04		2.5E-04	
	Nickel	Inhalation	4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03	
	QD Système respiratoire		**4.4E-03**		**4.3E-03**		**4.3E-03**		**4.3E-03**		**4.2E-03**	
Effet sur la fertilité	1,3 butadiène	Inhalation	1.2E-02		9.0E-03		8.0E-03		4.8E-03		4.3E-03	
Valeur repère			**1**									

Tableau 55 : Quotient de danger – Scénario Travailleur

			Scénario Travailleur									
Organe /Système cible	**Substance**	**Voie d'exposition**	**Situation Initiale**		**Situation de Référence 2025**		**Situation Projet 2025**		**Situation de Référence 2035**		**Situation Projet 2035**	
			Enfant	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**	**Enfant**	**Adulte**
Développement	benzo(a)pyrène	Inhalation	1.8E-01		1.7E-01		1.7E-01		1.7E-01		1.7E-01	
	benzo(a)pyrène	ingestion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Arsenic	Inhalation	1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02		1.5E-02	
	QD Développement		**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.9E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**	**1.8E-01**
Système immunitaire	Benzène	Inhalation	9.6E-02		9.4E-02		9.4E-02		9.2E-02		9.2E-02	
Système respiratoire	Chrome VI	Inhalation	7.7E-04		6.5E-04		6.2E-04		5.3E-04		5.5E-04	
	Nickel	Inhalation	4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03		4.0E-03	
	QD Système respiratoire		**4.8E-03**		**4.7E-03**		**4.6E-03**		**4.6E-03**		**4.6E-03**	
Effet sur la fertilité	1,3 butadiène	Inhalation	2.1E-02		1.5E-02		1.4E-02		8.0E-03		7.3E-03	
Valeur repère			**1**									

Annexe 5 :
Détail des Excès de Risque Individuel calculés

Tableau 56 : Excès de Risque Individuel – Scénario Habitant Moyen

Substances	Voies d'exposition	ERI Bruit de Fond	Scénario Habitant Moyen				
			Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Hap eq. B(a)P	Inhalation	1.1E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06
Benzène	Inhalation	2.3E-05	2.4E-05	2.4E-05	2.4E-05	2.4E-05	2.4E-05
Nickel	Inhalation	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07
Arsenic	Inhalation	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07
Chrome VI	Inhalation	-	3.7E-07	3.2E-07	3.0E-07	2.8E-07	2.7E-07
1,3 butadiène	Inhalation	-	3.4E-06	2.4E-06	2.0E-06	1.2E-06	1.1E-06
ERI Global		**2.6E-05**	**3.0E-05**	**2.9E-05**	**2.8E-05**	**2.7E-05**	**2.7E-05**
VALEUR REPERE		**1E-05**					

Tableau 57 : Excès de Risque Individuel – Scénario Habitant Majorant

Substances	Voies d'exposition	ERI Bruit de Fond	Scénario Habitant Majorant				
			Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Hap eq. B(a)P	Inhalation	1.1E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.1E-06
Benzène	Inhalation	2.3E-05	2.5E-05	2.4E-05	2.4E-05	2.4E-05	2.4E-05
Nickel	Inhalation	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07
Arsenic	Inhalation	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07
Chrome VI	Inhalation	-	9.5E-07	8.0E-07	7.7E-07	7.0E-07	6.8E-07
1,3 butadiène	Inhalation	-	7.3E-06	4.9E-06	4.7E-06	2.5E-06	2.4E-06
Hap eq. B(a)P	Ingestion	-	3.0E-07	2.9E-07	3.0E-07	2.3E-07	2.4E-07
ERI Global		**2.6E-05**	**3.6E-05**	**3.3E-05**	**3.2E-05**	**3.0E-05**	**2.9E-05**
VALEUR REPERE		**1E-05**					

Tableau 58 : Excès de Risque Individuel – Scénario Maraîcher

Substances	Voies d'exposition	ERI Bruit de Fond	Scénario Maraîcher				
			Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Hap eq. B(a)P	Inhalation	1.1E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06
Benzène	Inhalation	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05
Nickel	Inhalation	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07
Arsenic	Inhalation	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07
Chrome VI	Inhalation	-	4.4E-07	3.8E-07	3.3E-07	3.0E-07	3.0E-07
1,3 butadiène	Inhalation	-	4.1E-06	3.1E-06	2.7E-06	1.6E-06	1.5E-06
Hap eq. B(a)P	Ingestion	-	4.4E-07	4.2E-07	3.9E-07	3.2E-07	3.1E-07
ERI Global		**2.6E-05**	**3.1E-05**	**3.0E-05**	**2.9E-05**	**2.8E-05**	**2.8E-05**
VALEUR REPERE		**1E-05**					

Tableau 59 : Excès de Risque Individuel – Scénario Travailleur

Substances	Voies d'exposition	ERI Bruit de Fond	Scénario Travailleur				
			Situation Initiale	Situation de Référence 2025	Situation Projet 2025	Situation de Référence 2035	Situation Projet 2035
Hap eq. B(a)P	Inhalation	1.1E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06	1.2E-06
Benzène	Inhalation	2.3E-05	2.5E-05	2.4E-05	2.4E-05	2.4E-05	2.4E-05
Nickel	Inhalation	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07	1.6E-07
Arsenic	Inhalation	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07	9.5E-07
Chrome VI	Inhalation	-	9.3E-07	7.8E-07	7.5E-07	6.4E-07	6.6E-07
1,3 butadiène	Inhalation	-	7.3E-06	5.2E-06	4.7E-06	2.7E-06	2.5E-06
ERI Global		**2.6E-05**	**3.5E-05**	**3.3E-05**	**3.2E-05**	**3.0E-05**	**2.9E-05**
VALEUR REPERE		**1E-05**					