F.02 Rapport étude air-santé

PROJET DE REQUALIFICATION DES MAILS D'ORLEANS (54)

ETUDE AIR ET SANTE

Commanditaire :	**Orléans Métropole**	Rapport :	**Final**
Réalisation :	**Rincent Air**	Phase :	**2/2**
Auteur :	**BF ; VL**	Version :	**RP-AF24009-2-V1**
Validation :	**FC**	Date :	**06/02/2024**

Ce document est la propriété exclusive du commanditaire de l'étude.
Toute utilisation partielle ou totale reste soumise à la mention de « Rincent Air » en référence.

SOMMAIRE

I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE 4

I.1 REFERENTIEL METHODOLOGIQUE 4
I.2 CHOIX PREVISIONNEL DU NIVEAU D'ETUDE 4
I.3 CRITERES DE REVISION 4

II. ETAT INITIAL : ÉTUDE DOCUMENTAIRE 5

II.1 LES EMISSIONS POLLUANTES 5
II.1.1) Secteurs d'émissions dans la région Centre Val-de-Loire 5
II.1.2. Emissions liées au trafic routier 5
II.1.3. Emissions liées au secteur résidentiel 5
II.1.4. Emissions liées au secteur industriel 6
II.2 POPULATION IMPACTEE 6
II.2.1. Population générale 6
II.2.2. Population vulnérable 6
II.3 METEOROLOGIE 8
II.3.1. Impact des paramètres météorologiques 8
II.3.2. Station de référence 8
II.3.3. Normales météorologiques 8
II.4 QUALITE DE L'AIR 9
II.4.1. Définitions 9
II.4.2. Station de mesure de référence 9
II.5 LES PLANS DE PREVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE 10
II.5.1. Les plans à l'échelle nationale 10
II.5.2. Les plans à l'échelle régionale 10
II.5.3. Les plans à l'échelle locale 10

III. ETAT INITIAL : CAMPAGNE DE MESURE 12

III.1 PRELEVEMENT ET ANALYSE 12
III.1.1. Polluants mesurés 12
III.1.2. Mesure du dioxyde d'azote 12
III.2 PLAN D'ECHANTILLONNAGE 12
III.2.1. Points de mesure 12
III.2.2. Période de mesure 12
III.3 RESULTATS DE LA CAMPAGNE 13
III.3.1. Conditions météorologiques 13
III.3.2. Conditions de pollution atmosphérique 13
III.3.3. Validité des mesures par capteurs passif 14
III.3.4. Concentrations en NO_2 14
III.3.5. Cartographie des résultats 14
III.4 COMPARAISON A LA REGLEMENTATION 15
III.4.1. Cadre réglementaire 15
III.4.2. Dioxyde d'azote (NO_2) 15

IV. EFFETS DU PROJET : ESTIMATION DES ÉMISSIONS POLLUANTES 16

IV.1 METHODOLOGIE 16
IV.1.1. Méthode de calcul 16
IV.1.2. Parc de véhicules 16
IV.1.3. Facteurs d'émissions unitaires 16
IV.1.4. Scénarios considérés 16
IV.1.5. Données de trafic 16
IV.1.6. Bande d'étude 16
IV.2 RESULTATS DU CALCUL DES EMISSIONS POLLUANTES 17
IV.2.1. Emissions polluantes globales 17
IV.3 MONETARISATION DES COUTS 18
IV.3.1. Coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique 18
IV.3.2. Coûts collectifs liés à l'effet de serre 18

V. EFFETS DU PROJET : MODÉLISATION DES CONCENTRATIONS 19

V.1 METHODOLOGIE 19
V.1.1. Modèle 19
V.1.2. Emissions polluantes 19
V.1.3. Météorologie 19
V.1.4. Topographie 19
V.1.5. Pollution de fond 19
V.2 RESULTATS DE LA MODELISATION 20
V.2.1. Cartographies des concentrations 20
V.2.2. Concentrations sur les points d'intérêt 21
V.2.3. Indice IPP 21

VI. EFFETS DU PROJET : ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES 22

VI.1 METHODOLOGIE 22
VI.1.1. Sites étudiés 22
VI.1.2. Etapes de l'évaluation des risques sanitaires 22
VI.1.3. Identification des dangers 22
VI.2 CARACTERISATION DU RISQUE PAR INHALATION – SUBSTANCES A EFFET DE SEUIL 23
VI.2.1. Principe 23
VI.2.2. Résultats 23
VI.3 CARACTERISATION DU RISQUE PAR INHALATION – SUBSTANCES SANS EFFET DE SEUIL 24
VI.3.1. Principe 24
VI.3.2. Résultats 24
VI.4 CARACTERISATION DU RISQUE PAR INHALATION – SUBSTANCES SANS VTR 25
VI.4.1. Principe 25
VI.4.2. Résultats 25
VI.5 CARACTERISATION DU RISQUE PAR INHALATION – SUBSTANCES SANS VTR 26
VI.5.1. Identification des dangers 26
VI.5.2. Relation dose-réponse 26
VI.5.3. Estimation de l'exposition 26
VI.5.4. Caractérisation du risque 26

VII. MESURES D'ÉVITEMENT DE RÉDUCTION OU DE COMPENSATION 27

VII.1 EN PHASE PROGRAMMATION/CONCEPTION DE PROJET 27
VII.2 EN PHASE CHANTIER 28

VIII. SYNTHÈSE 29

VIII.1 ETAT INITIAL 29
VIII.2 EFFETS DU PROJET 29

ANNEXE

Annexe 1 : Rappel des effets de la pollution atmosphérique sur la santé 31
Annexe 2 : Fiche des points de mesure 36
Annexe 3 : Incertitudes sur l'évaluation des risques sanitaires 41

TABLEAUX

Tableau 1 : définition des niveaux d'études (note technique du 22/02/2019) 4
Tableau 2 : contenu des différents niveaux d'étude 4
Tableau 3 : principales industries et leurs émissions de polluants atmosphériques 6
Tableau 4 : description des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet 7
Tableau 5 : moyennes annuelles des concentrations en polluants sur les stations Lig'Air 9
Tableau 6 : plan d'échantillonnage 12
Tableau 7 : étude des données Lig'Air 13
Tableau 8 : facteurs de validité des mesures 14
Tableau 9 : résultats des mesures NO_2 14
Tableau 10 : définition de la bande d'étude (note technique du 22/02/2019) 16
Tableau 11 : bilan des émissions de PES 17
Tableau 12 : bilan des émissions de GES 17
Tableau 13 : valeurs tutélaires du coût de la pollution liée au trafic routier 18
Tableau 14 : facteurs d'évolution des valeurs tutélaires 18
Tableau 15 : valeurs tutélaires retenues pour le coût de la pollution 18
Tableau 16 : coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique 18
Tableau 17 : coûts collectifs liés à l'effet de serre 18
Tableau 18 : sources utilisées pour le bruit de fond 19
Tableau 19 : concentrations de fond utilisées 19
Tableau 20 : concentrations moyennes en NO_2 sur les points d'intérêt 21
Tableau 21 : IPP selon les scénarios considérés 21
Tableau 22 : recensement des valeurs disponibles 22
Tableau 23 : paramètres d'exposition 23
Tableau 24 : VTR à effets de seuil pour l'exposition par inhalation 23
Tableau 25 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste 23
Tableau 26 : paramètres d'exposition 24
Tableau 27 : VTR sans effet de seuil pour l'exposition par inhalation 24
Tableau 28 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste 25
Tableau 29 : valeurs guides pour le NO_2 (expositions chronique et aigue) 25
Tableau 30 : comparaison des concentrations aux valeurs guides et réglementaires 25
Tableau 31 : description des principaux polluants en air ambiant 31
Tableau 32 : récapitulatif de la réglementation en vigueur en France sur la qualité de l'air 34
Tableau 33 : valeurs réglementaires pour les composés gazeux dans l'air ambiant 35
Tableau 34 : valeurs réglementaires pour les composés particulaires dans l'air ambiant 35
Tableau 35 : définition des seuils réglementaires 35

FIGURES

Figure 1 : part des émissions atmosphériques par secteur dans la région Centre Val-de-Loire en 2018 5
Figure 2 : localisation des principaux axes routiers dans la zone d'étude (source : IGN) 5
Figure 3 : localisation des principaux sites industriels dans un rayon de 5 km autour du projet 6
Figure 4 : population autour de la zone du projet 6
Figure 5 : localisation des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet 7
Figure 6 : localisation de la station météorologique de référence 8
Figure 7 : normales de températures et précipitations 8
Figure 8 : rose des vents décennale 8
Figure 9 : localisation des stations qualité de l'air de référence 9
Figure 10 : plan d'échantillonnage 12
Figure 11 : étude des températures et précipitations (données : Météo France) 13
Figure 12 : étude des conditions de vent (données : Météo France) 13
Figure 13 : cartographie des résultats 14
Figure 14 : comparaison des résultats des mesures NO_2 à la réglementation 15
Figure 15 : bande d'étude 16
Figure 16 : rose de vents utilisée pour la modélisation 19
Figure 17 : représentation du relief en vue 2D 19
Figure 18 : concentration moyenne journalière en NO_2 – scénario actuel 20
Figure 19 : concentration moyenne journalière en NO_2 – scénario futur sans projet 20
Figure 20 : concentration future moyenne journalière en NO_2 – futur avec projet 20
Figure 21 : variation des concentrations en NO_2 entre le scénario futur sans projet et avec projet 20
Figure 22 : histogrammes de distribution concentration/population pour le NO_2 21
Figure 23 : localisation des sites vulnérables dans la bande d'étude 22
Figure 24 : recommandations générales d'aménagements favorisant la dispersion de polluants 27
Figure 25 : profil annuel des concentrations de NO_2/PM_{10}/O_3 en Ile-de-France (données : Airparif) 32
Figure 26 : profil journalier des concentrations de NO_2/PM_{10}/O_3 en Ile-de-France (données : Airparif) 32
Figure 27 : gain d'espérance de vie pour une réduction des teneurs annuelles en $PM_{2.5}$ à 10 µg/m³ 33
Figure 28 : pyramide des effets de la pollution atmosphérique 33

I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

I.1 Référentiel méthodologique

Les projets d'aménagement urbain sont soumis à l'article L122-1 du Code de l'Environnement qui impose au maitre d'ouvrage la réalisation d'une évaluation environnementale systématique ou après examen au cas par cas. Lors de cette évaluation, les effets sur la qualité de l'air sont traités conformément à la réglementation applicable aux projets routiers. Dans ce cadre, Rincent Air applique la méthodologie décrite par la note technique 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 des infrastructures routières.

Le niveau de l'étude air et santé dépend principalement du trafic sur les axes impactés de plus de 10 % par le projet selon le tableau suivant :

Densité de population dans la bande d'étude	**Trafic à l'horizon d'étude** (selon tronçons homogènes de plus de 1 km)				
	> 50000 véh/j ou 5 000 uvp/h	**25000 à 50000 véh/j** ou 2500 à 5000 uvp/h	**≤ 25000 véh/j** ou 2500 uvp/h	**≤ 10000 véh/j** ou 1000 uvp/h	
≥ 10 000 hab/km²	**I**	**I**	**II**	**>5km : II**	**<5km : III**
2000 à 10000 hab/km²	**I**	**II**	**II**	**>25km : II**	**<25km : III**
≤ 2000 hab/km²	**I**	**II**	**II**	**>50km : II**	**<50km : III**
Pas de bâti	**III**	**III**	**IV**	**IV**	

Tableau 1 : définition des niveaux d'études (note technique du 22/02/2019)

Le tableau ci-dessous présente le contenu des différents niveaux d'étude :

Contenu des études	**IV**	**III**	**II**	**I**
Etude documentaire	Secteurs d'émissions, sources d'émissions, données du réseau de surveillance, plans locaux		Secteurs d'émissions, sources d'émissions, population exposée, sites vulnérables, données du réseau de surveillance, plans locaux	Secteurs d'émissions, sources d'émissions, projets proches, population exposée, sites vulnérables, sites exposés au risque d'ingestion, données du réseau de surveillance, plans locaux, étude EISPA
Campagne de mesure		NO_2 en cas de manque de données	- NO_2 systématique - PM_{10} sur demande de l'AE	- Dans l'air : NO_2, benzène, PM_{10}, $PM_{2.5}$, 16 HAP, As, Ni, Cr, 1,3-butadiène - Dans les sols et végétaux : 16 HAP
Estimation des émissions polluantes	NOx, benzène, PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, COVNM, SO_2, BaP, As, Ni			NOx, benzène, PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, COVNM, SO_2, 16 HAP, As, Ni, Cr, 1,3-butadiène
Calcul des coûts collectifs	NOx, $PM_{2.5}$, COVNM, SO_2			
Modélisation des concentrations			NO_2 systématique, PM_{10} sur demande de l'AE pour 3 scénarios : - actuel - futur sans projet - futur avec projet	NO_2, benzène, PM_{10}, $PM_{2.5}$, 16 HAP, As, Ni, Cr, 1,3-butadiène pour 5 scénarios : - actuel, - futur sans et avec projet - futur sans et avec projet + 20 ans
Calcul de l'indice pollution-population			NO_2 systématique, PM_{10} sur demande de l'AE	
Etude des risques sanitaires			Risque par inhalation au droit des sites vulnérables	Risque par inhalation sur l'ensemble de la bande d'étude, et par ingestion au droit des sites exposés
Mesures ERC	Analyse des impacts en phase chantier et des mesures ERC applicables			

Tableau 2 : contenu des différents niveaux d'étude

I.2 Choix prévisionnel du niveau d'étude

La requalification des mails d'Orléans entraine une augmentation de plus de 10 % du trafic routier sur certaines portions du boulevard Jean Jaurès (entre la rue du Faubourg Madeleine et le quai Saint-Laurent) qui portent un trafic supérieur à 10 000 véhicules/jour. Dans ce cadre, l'étude air et santé peut être dimensionnée pour un niveau II.

I.3 Critères de révision

Ce niveau d'étude peut être revu à la hausse en fonction de différents critères :

- Une population supérieure à 100 000 habitants dans la bande d'étude nécessite de remonter d'un niveau les études de type II et III. D'après les données carroyées de l'INSEE de 2019, la population au niveau de la zone du projet est inférieure à 100 000 habitants.
- La localisation du projet dans une zone géographique couverte par un plan de protection de l'atmosphère (PPA) nécessite de remonter d'un niveau les études de type II, III et IV. Dans le cas contraire, un argumentaire doit être fourni pour justifier le maintien du niveau d'étude. Le projet se situe dans la métropole orléanaise, couverte par un PPA, ce qui nécessiterait d'augmenter l'étude en niveau I. Néanmoins, conformément au principe de proportionnalité cité par l'article R122-5 du code de l'environnement, et à la note technique du 22 février 2019 qui réserve les études de niveau I aux projets « les plus conséquents », l'étude est maintenue sur un niveau II au vu de l'ampleur et des enjeux du projet.

De même, il peut être réduit dans les cas suivants :

- Une augmentation de trafic inférieure à 10 % (ou à 500 véh/j sur les voies nouvellement créées) sur tous les axes permet de diminuer le type d'étude d'un niveau. Les données de trafic indiquent que le projet n'est pas concerné par ce critère.
- Une diminution du trafic sur tous les axes permet de diminuer le type d'étude de deux niveaux. Les données de trafic indiquent que le projet n'est pas concerné par ce critère.
- L'éloignement de la population par rapport au réseau viaire, en comparaison avec l'état initial, permet de diminuer le type d'étude d'un niveau. Le projet n'est pas concerné par ce critère.

L'abaissement du type d'étude reste limité à un seul niveau en cas de qualité de l'air actuelle dégradée (dépassement des valeurs limites).

Dans ce cadre le niveau d'étude du projet est maintenu sur un niveau II.

II. ETAT INITIAL : ETUDE DOCUMENTAIRE

II.1 Les émissions polluantes

II.1.1) Secteurs d'émissions dans la région Centre Val-de-Loire

La figure ci-dessous présente la répartition des émissions de différentes activités pour les principaux polluants atmosphériques dans la région Centre Val-de-Loire pour l'année 2018 (estimations réalisées par Lig'Air en 2021) dans laquelle s'inscrit la zone de projet :

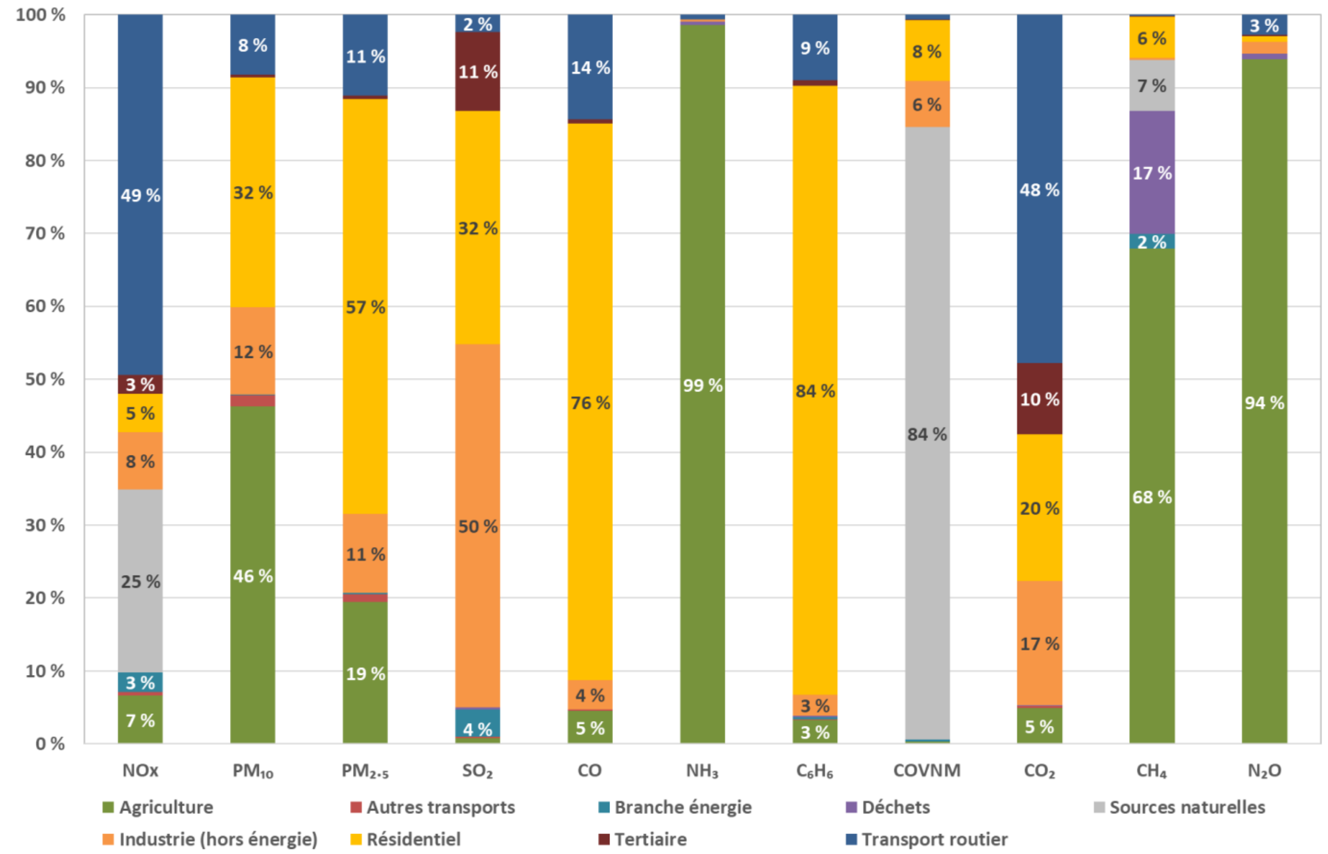


Figure 1 : part des émissions atmosphériques par secteur dans la région Centre Val-de-Loire en 2018

A l'échelle régionale, le secteur du trafic routier représente environ la moitié des émissions de NO_X (49 %). Dans ce secteur, les véhicules diesel représentent environ 95 % des émissions contre 5 % pour les véhicules essence.

Les PM_{10} sont principalement issues des activités agricoles (46 %) ainsi que du secteur résidentiel (32 %). Pour les particules plus fines ($PM_{2.5}$), le secteur résidentiel représente un émetteur plus important (57 %), réduisant la part du secteur agricole (19 %).

Les émissions de CO sont liées en grande majorité au secteur résidentiel-tertiaire (76 %), notamment du fait du chauffage au bois. Le secteur du transport routier (en particulier les véhicules essence) est le deuxième émetteur le plus important (14 %).

Les émissions de COVNM sont liées à 84 % aux sources naturelles. Le benzène (C_6H_6), qui fait partie de la famille des COVNM est quant à lui émis en grande majorité par le secteur résidentiel (combustion du bois).

Le SO_2 est principalement émis par le secteur industriel (50 %) mais le secteur résidentiel-tertiaire est également un émetteur significatif (43 %).

Le NH_3 est émis en quasi-totalité par le secteur agricole (99 %).

II.1.2. Emissions liées au trafic routier

Dans la zone d'étude, les principales sources d'émissions locales liées au trafic routier sont constituées d'une part par les axes de la zone opérationnelle directement concernés par la requalification (boulevards Jean Jaurès, de Verdun, Rocheplatte et Alexandre Martin partie ouest) et d'autre part par les axes majeurs qui les relient (quais Saint-Laurent, pont du Maréchal Joffre, rue du Faubourg Saint-Jean, avenue de Paris, boulevard Alexandre Martin partie est). La densité de circulation sur ces différents axes laisse envisager des émissions polluantes locales importantes, notamment en oxydes d'azote (NO_X) – polluant émis principalement par le trafic routier à l'échelle régionale (49 %) – et dans une moindre mesure en particules PM_{10} et $PM_{2.5}$.

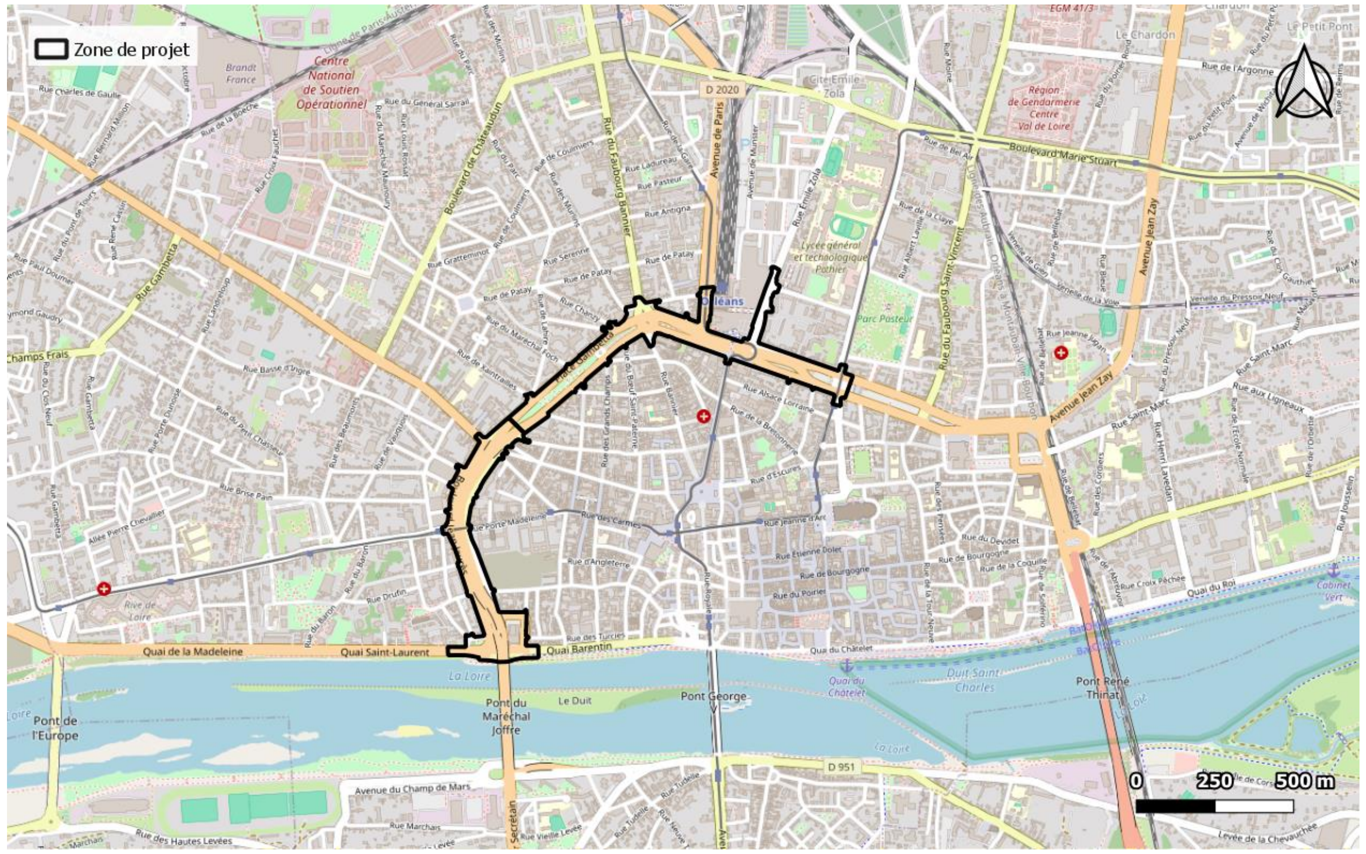


Figure 2 : localisation des principaux axes routiers dans la zone d'étude (source : IGN)

II.1.3. Emissions liées au secteur résidentiel

Le projet s'inscrit dans un environnement très urbanisé. Le secteur résidentiel-tertiaire est un émetteur important de particules PM_{10} et $PM_{2.5}$, de CO et de benzène dans la région, ce qui indique des émissions également significatives de ces polluants dans la zone de projet.

II.1.4. Emissions liées au secteur industriel

Le Registre Français des Emissions Polluantes (iREP) met à disposition les rejets atmosphériques déclarés par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). L'ADEME, à travers la plateforme SINOE, compile également les données relatives aux méthaniseurs, installations de stockage des déchets et unités de valorisation sur le territoire français. Le croisement de ces bases de données a permis de localiser 2 sites industriels dans un rayon de 5 km autour de la zone du projet, dont la liste et la localisation sont indiquées dans la figure et le tableau suivants :

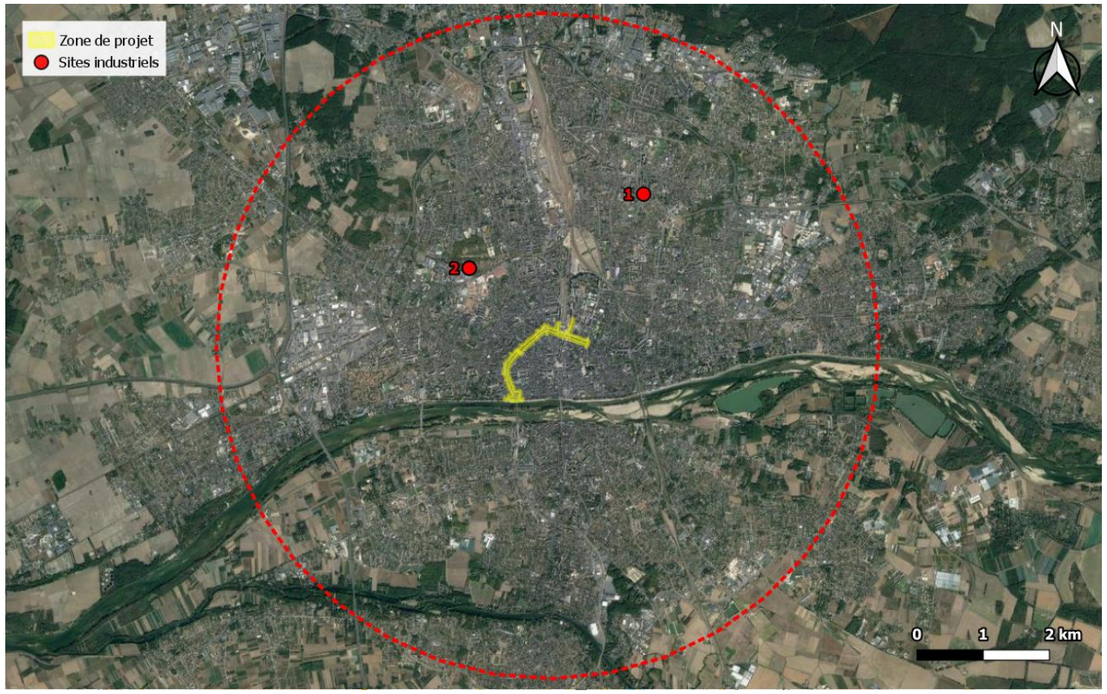


Figure 3 : localisation des principaux sites industriels dans un rayon de 5 km autour du projet

N°	Industrie	Polluants	Emissions 2019
1	SOFLEC *Production et distribution de vapeur et d'air conditionné*	CO_2	11 300 tonnes
2	SODC *Production et distribution de chaleur*	CO_2	91 500 tonnes
		Antimoine (Sb)	105 kg

Tableau 3 : principales industries et leurs émissions de polluants atmosphériques

D'après les données disponibles, les industries polluantes identifiées à proximité du site émettent en quantité importante du dioxyde de carbone (CO_2), gaz à effet de serre qui ne présente pas d'effet sanitaire direct sur les populations. Il est également à noter des émissions de métaux (antimoine) dans l'air ambiant au niveau du site SOCD situé à environ 2 km au nord-ouest de la zone de projet. La distance de ce site ne laisse cependant pas envisager d'impact significatif au niveau de la zone d'étude.

II.2 Population impactée

II.2.1. Population générale

Les données relatives à la population sont définies à partir de la base de données INSEE de 2017 qui effectue un maillage du nombre d'individus par carreaux de 200 m de côté :

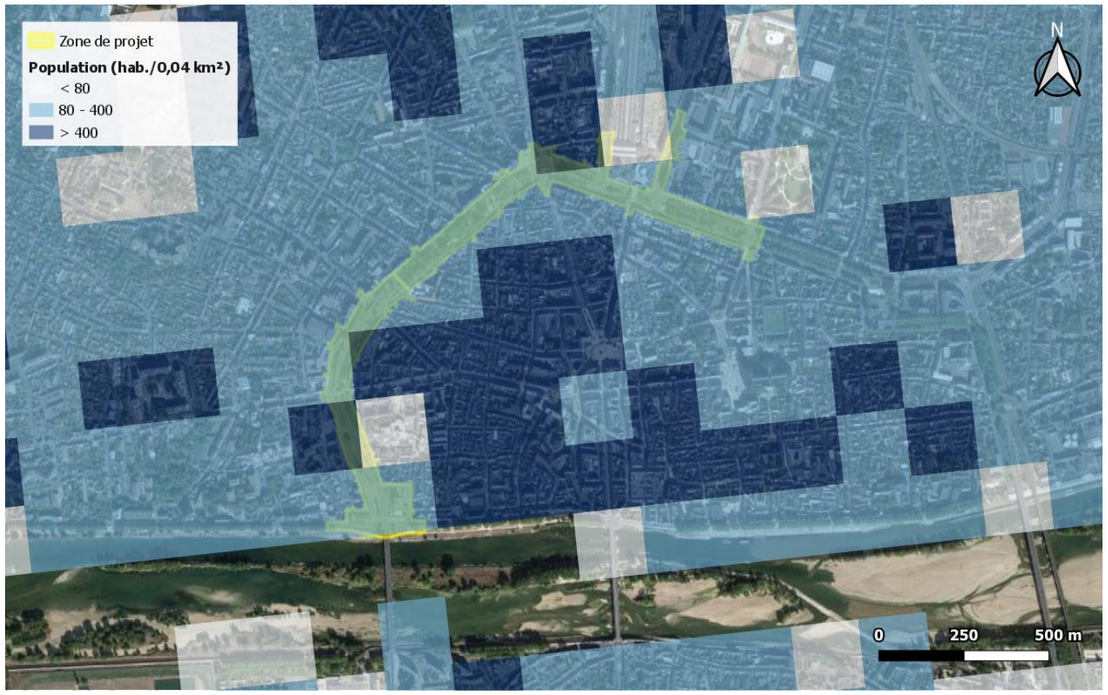


Figure 4 : population autour de la zone du projet

La ville d'Orléans comptabilise 287 541 habitants (données 2021) pour une superficie de 27,48 km² soit une densité d'environ 4 244 habitants/km². En revanche, au niveau de la zone du projet, la population actuelle est principalement comprise entre 5 000 et 10 000 hab/km² voire supérieure à 10 000 hab/km², caractérisant une forte densité de population.

II.2.2. Population vulnérable

La note méthodologique du 22 février 2019 définit les établissements suivants comme sites vulnérables vis-à-vis de la qualité de l'air :

- Les structures d'accueil des enfants en bas-âge : crèches, haltes garderies, etc.
- Les établissements scolaires : écoles maternelles et primaires, collèges, lycées.
- Les structures d'accueil des personnes âgées : maisons de retraite, etc.
- Les établissements de santé : hôpitaux, cliniques, etc.

La figure 4 présente la localisation des sites vulnérables les plus proches du projet. Leur description est présentée dans le tableau 4.

N°	Etablissement	Type
1	Résidence Autonomie Isabelle-Romée	Etablissement pour personnes âgées
2	Petite unité de vie l'Entr'Aide	Etablissement pour personnes âgées
3	EHPAD Résidence Sainte Cécile	Etablissement pour personnes âgées
4	Lycée polyvalent Jean Zay	Etablissement scolaire
5	Ecole maternelle privée Saint-Charles	Etablissement scolaire
6	Ecole maternelle Roger Secrétain	Etablissement scolaire
7	Ecole élémentaire André Dessaux	Etablissement scolaire
8	Collège Jeanne d'Arc	Etablissement scolaire
9	Ecole maternelle privée Sainte Croix-Saint Euverte	Etablissement scolaire
10	Ecole primaire privée Saint Charles	Etablissement scolaire
11	Collège privé Saint Paul - Bourdon Blanc	Etablissement scolaire
12	Ecole maternelle Claude Lerude	Etablissement scolaire
13	Ecole primaire privée Saint Vincent	Etablissement scolaire
14	Ecole primaire privée hc La Chouette	Etablissement scolaire
15	Ecole maternelle du Chatelet	Etablissement scolaire
16	Ecole élémentaire Charles Pensée	Etablissement scolaire
17	Ecole élémentaire Jean Zay	Etablissement scolaire
18	Ecole élémentaire Jacques Androuet Ducerceau	Etablissement scolaire
19	Ecole élémentaire d'application Louis Guilloux	Etablissement scolaire
20	Ecole élémentaire privée Sainte Croix-Saint Euverte	Etablissement scolaire
21	Ecole primaire privée Saint Paul-Bourdon Blanc	Etablissement scolaire
22	Collège privé Saint Charles	Etablissement scolaire
23	Ecole primaire Pierre Ségelle	Etablissement scolaire
24	Collège Dunois	Etablissement scolaire
25	Ecole maternelle Roger Toulouse	Etablissement scolaire
26	Ecole élémentaire Guillaume Apollinaire	Etablissement scolaire
27	EHPAD Les Petites Soeurs des Pauvres	Etablissement pour personnes âgées
28	Lycée général et technologique Pothier	Etablissement scolaire
29	Lycée polyvalent Benjamin Franklin	Etablissement scolaire
30	Ecole maternelle René Thinat	Etablissement scolaire
31	Ecole maternelle Flora Tristan	Etablissement scolaire
32	EHPAD Le Doyenné du Baron	Etablissement pour personnes âgées
33	Collège privé Sainte Croix - Saint Euverte	Etablissement scolaire
34	Ecole primaire privée Saint Laurent	Etablissement scolaire
35	Ecole maternelle privée Saint-Paul Bourdon Blanc	Etablissement scolaire
36	Lycée professionnel Sainte-Croix Saint Euverte	Etablissement scolaire
37	Lycée privée Saint-Paul Bourdon Blanc	Etablissement scolaire
38	Ecole maternelle Louise Michel	Etablissement scolaire
39	Crèche familiale de la Gare	Etablissement de la petite enfance
40	Les Berceaux de Vauquois	Etablissement de la petite enfance
41	Les Petites Graines	Etablissement de la petite enfance
42	Crèche collective Le Baron	Etablissement de la petite enfance
43	Orléans Les Chats Ferrés	Etablissement de la petite enfance
44	Les Petits Chaperons Rouges Centre	Etablissement de la petite enfance
45	Crèche du Plat d'Etain	Etablissement de la petite enfance
46	Les Petits Chaperons Rouges Gare	Etablissement de la petite enfance
47	Crèche collective Pasteur	Etablissement de la petite enfance
48	Ecole élémentaire Jardin des Plantes	Etablissement scolaire
49	Ecole primaire Demay-Vignier-Grands	Etablissement scolaire
50	Ecole élémentaire spécialisée Les Capucins	Etablissement scolaire

Tableau 4 : description des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet

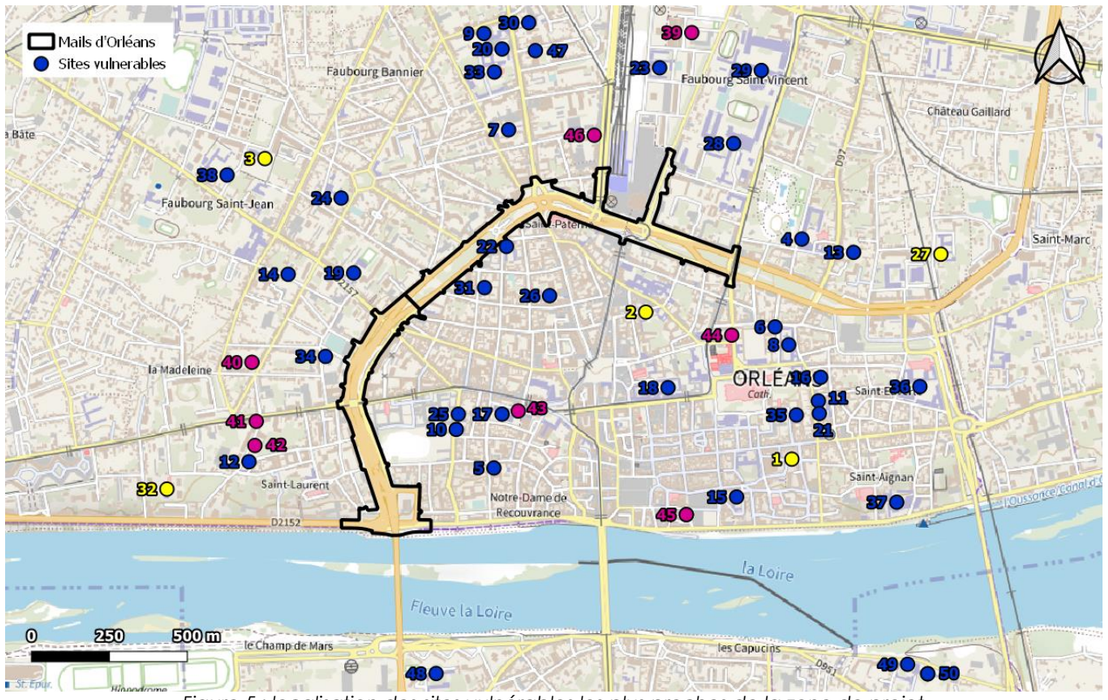


Figure 5 : localisation des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet

Ce recensement permet de localiser 50 sites vulnérables dans la zone d'étude. Les données de trafic permettront de déterminer si certains de ces sites vulnérables sont localisés dans la bande d'étude et doivent faire l'objet d'une évaluation des risques sanitaires (ERS).

II.3 Météorologie

II.3.1. Impact des paramètres météorologiques

Les concentrations en polluants sont influencées par les températures de différentes manières : les épisodes de froid peuvent par exemple provoquer une utilisation plus importante du chauffage en milieu urbain et ainsi favoriser des émissions de NO_X, particules et benzène. Le fonctionnement à froid des moteurs automobiles est également plus émissif. De plus, des phénomènes d'inversion thermique peuvent réduire la dispersion des polluants. À l'inverse, les épisodes de chaleur et d'ensoleillement sont susceptibles de favoriser des réactions chimiques à l'origine de la formation de polluants secondaires (ex : ozone) et la diminution des concentrations en polluants primaires (ex : oxydes d'azote).

La pluie assure quant à elle un rôle de lessivage de l'atmosphère par un phénomène d'abattement des polluants au sol. Des précipitations abondantes peuvent ainsi limiter l'effet d'une pollution particulaire par exemple. À contrario, une période trop sèche peut être favorable à une augmentation de la pollution et des concentrations en aérosols. Enfin, les vents sont un paramètre essentiel de l'étude de la pollution atmosphérique car ils conditionnent l'impact des sources d'émission (sous/hors panache) et influencent la dispersion des polluants (vitesses faibles ou élevées).

II.3.2. Station de référence

Pour étudier l'influence de ces paramètres, les conditions météorologiques lors de chaque campagne de mesure sont comparées aux normales saisonnières. Les normales de températures et précipitations sont constituées des observations de Météo France réalisées de 1991 à 2020 (de 2001 à 2020 pour les vents) et ne sont par conséquent disponibles qu'auprès des stations météorologiques implantées depuis plus de 30 ans. La station la plus proche de la zone d'étude présentant ces données est celle de Orléans, située à environ 13 km au nord-ouest du projet. Les données normales de vent, constituées par la rose décennale, sont également acquises auprès de cette station. La figure suivante illustre la localisation de la station météorologique utilisée par rapport au projet.

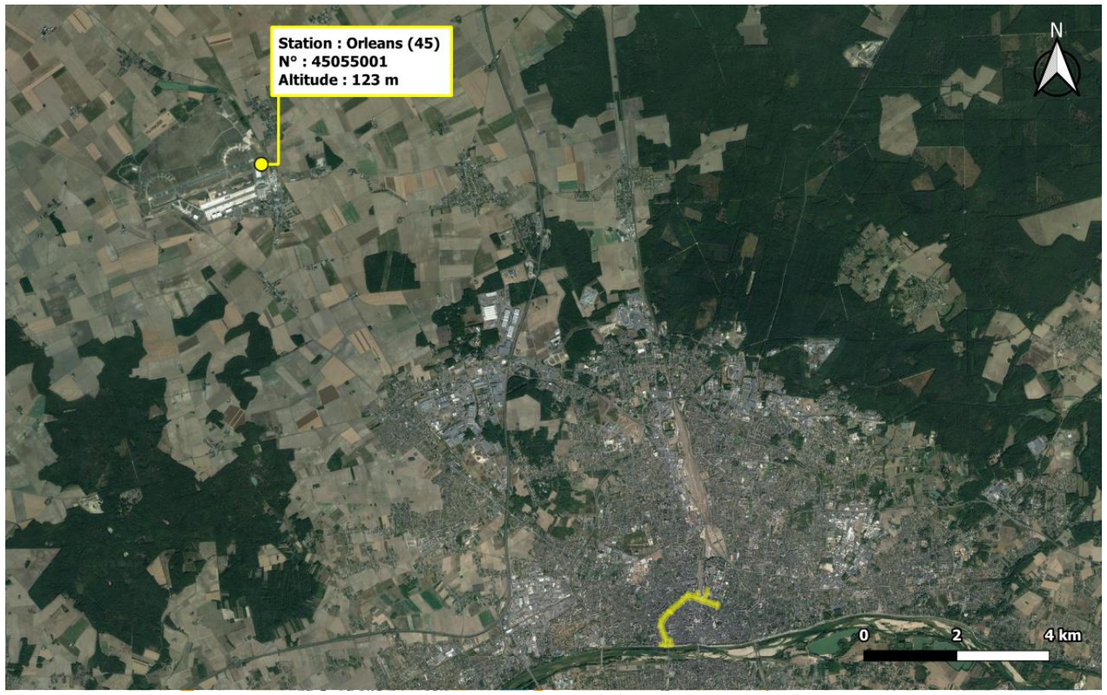


Figure 6 : localisation de la station météorologique de référence

II.3.3. Normales météorologiques

Les figures suivantes présentent les moyennes mensuelles observées de 1991 à 2020 pour les paramètres de température et de précipitations, ainsi que la rose des vents[1] 2001-2020 de la station Météo France de Orléans :

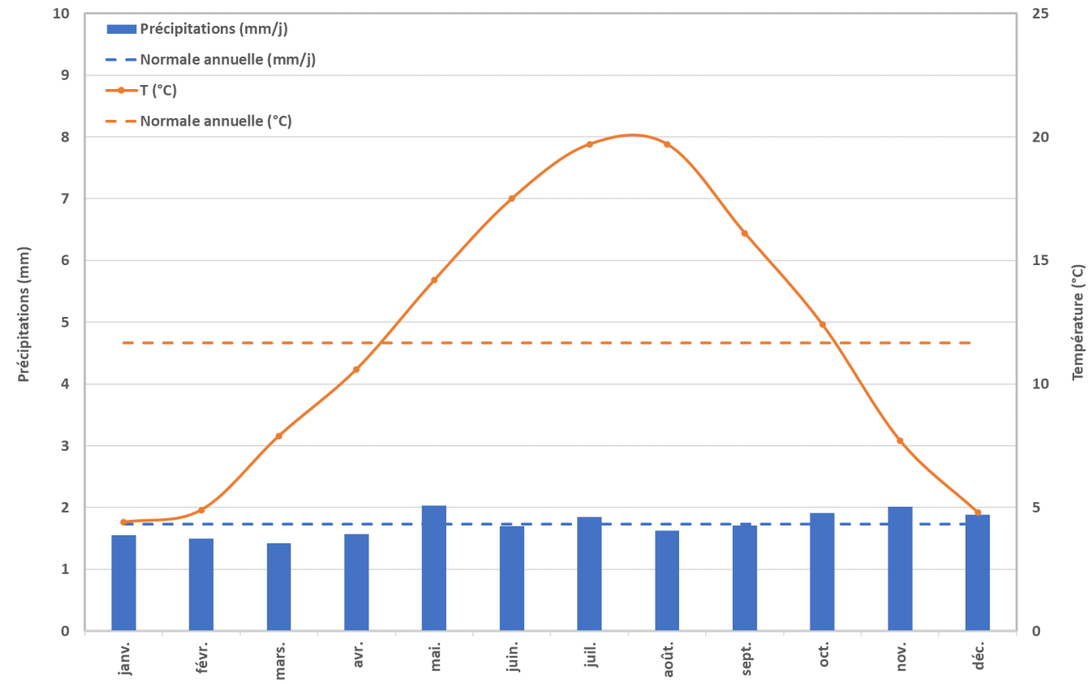


Figure 7 : normales de températures et précipitations

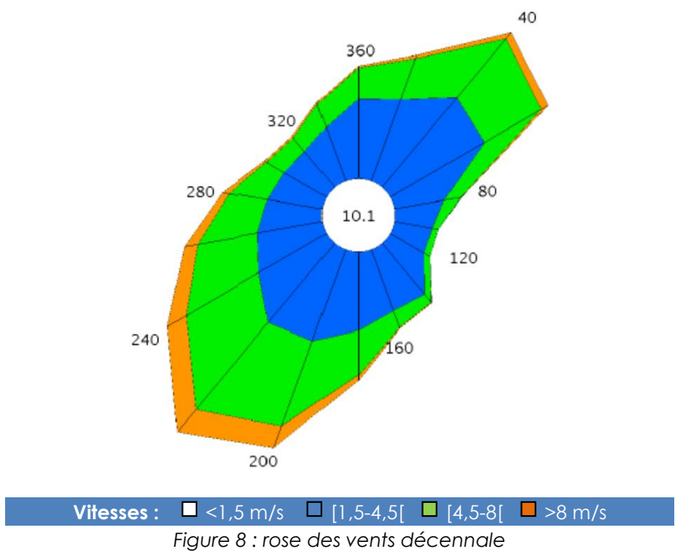


Figure 8 : rose des vents décennale

La température moyenne annuelle relevée au niveau de la station est de 11,7°C avec des maxima observées sur la période juillet-aout et des minima sur la période décembre-janvier.

En moyenne sur la période 1991-2020, les précipitations sont réparties de façon relativement uniforme tout au long de l'année (1,7 mm/jour) avec un mois de mai et de novembre plus important à 2,0 mm/jour.

La rose des vents indique quant à elle un axe sud-ouest majoritaire, ainsi qu'un secteur secondaire nord-est.

Ces données sont utilisées pour évaluer les conditions des mesures dans les chapitres suivants.

[1] Graphique radial représentant l'origine des vents sur un cercle de 0 à 360° par secteurs de 20° (ex : vent de secteur nord compris entre 350 à 10°). L'axe des ordonnées représente le pourcentage d'apparition des vents sur chaque secteur.

II.4 Qualité de l'air

II.4.1. Définitions

La surveillance de la qualité de l'air à l'échelle d'un territoire est confiée en France aux associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) qui disposent d'un réseau de stations de mesures permettant de caractériser différentes situations d'exposition à la pollution appelées « typologies ». Les typologies de station ou de points de mesure sont définies de la façon suivante :

- Les points de **trafic** sont situés au plus près des sources d'émission polluantes constituées par les axes routiers. Ils permettent de connaître les teneurs maximales en certains polluants auxquelles la population peut être exposée ponctuellement.

- Les points de **fond** sont situés en dehors de l'influence des principales sources de pollution atmosphérique. Ils permettent de connaître l'exposition chronique à laquelle est soumise une population sur une large zone spatiale. En fonction de l'environnement du site, le terme de **fond urbain, périurbain,** ou **rural** peut être utilisé.

II.4.2. Station de mesure de référence

Les stations Lig'Air de trafic « Gambetta » et de fond urbain « Saint-Jean » (arrêtée début 2023) et « Saint-Jean de la Ruelle » (démarrée début 2023) constituent les stations les plus proches du projet (cf. figure 9). Elles sont utilisées comme stations de référence pour étudier les conditions locales de pollution atmosphérique.

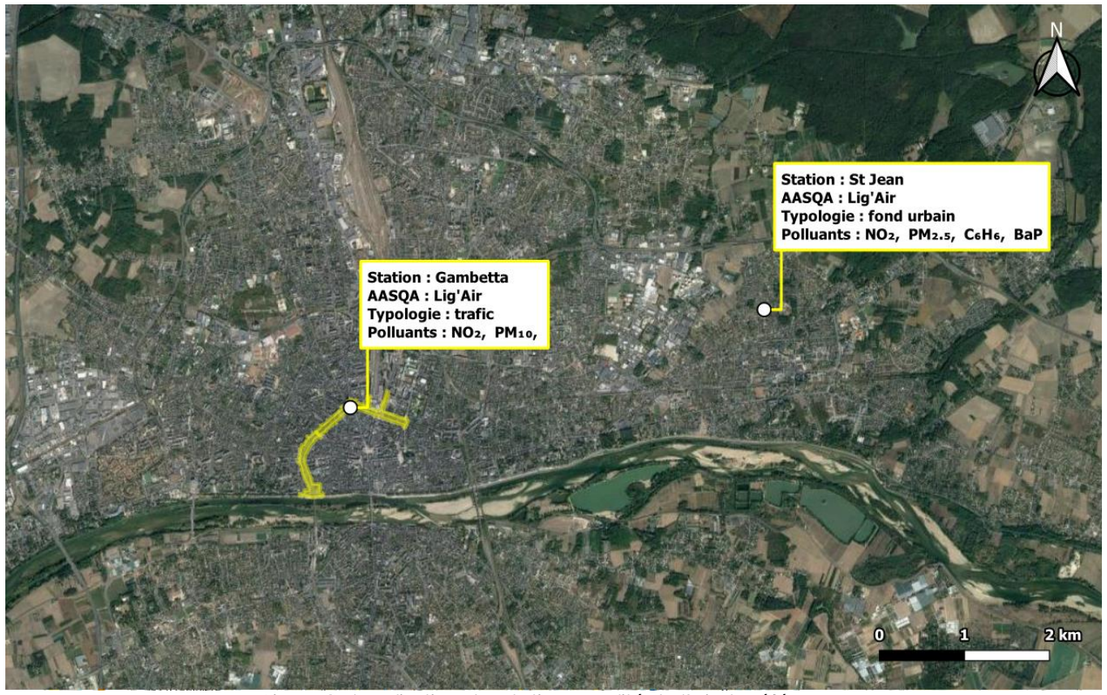


Figure 9 : localisation des stations qualité de l'air de référence

Le tableau 5 présente les évolutions annuelles entre 2019 et 2023 des polluants mesurés par les stations Lig'Air « Gambetta », « Saint-Jean » et « Saint-Jean de la Ruelle » :

Station	Polluant	Valeur	Valeur limite	2019	2020	2021	2022	2023
Gambetta	NO_2	Moyenne annuelle (µg/m³)	40	28	21	22	23	21
	PM_{10}	Moyenne annuelle (µg/m³)	40	19	17	16	18	15
		Nb de jours dont la moyenne journalière > 50 µg/m³	35	5	4	4	-	4
Saint-Jean	NO_2	Moyenne annuelle (µg/m³)	40	10	9	9	9	
	PM_{10}	Moyenne annuelle (µg/m³)	40			14	17	
		Nb de jours dont la moyenne journalière > 50 µg/m³	35			2	3	
	$PM_{2.5}$	Moyenne annuelle (µg/m³)	25	10	9	10	11	
	C_6H_6	Moyenne annuelle (µg/m³)	5	1	-	1	1	
Saint-Jean de la Ruelle	NO_2	Moyenne annuelle (µg/m³)	40					12
	PM_{10}	Moyenne annuelle (µg/m³)	40					16
		Nb de jours dont la moyenne journalière > 50 µg/m³	35					8
	$PM_{2.5}$	Moyenne annuelle (µg/m³)	25					10

Tableau 5 : moyennes annuelles des concentrations en polluants sur les stations Lig'Air

Dioxyde d'azote (NO_2)

Les teneurs en NO_2 relevées au niveau de la station Gambetta indiquent une stagnation des concentrations moyennes annuelles depuis 2020, avec des valeurs comprises entre 21 et 23 µg/m³. Une chute importante des concentrations est observée entre 2019 (28 µg/m³) et 2020 (21 µg/m³) qui s'explique par la mise en place des mesures sanitaires en France suite à la pandémie de Covid-19. En situation de fond urbain (station Saint-Jean), une stagnation des concentrations est également observée entre 2019 et 2023. Les moyennes annuelles mesurées respectent toutes la valeur limite de 40 µg/m³ sur les cinq dernières années.

Particules PM_{10} et $PM_{2.5}$

Au niveau du boulevard Gambetta, les concentrations moyennes annuelles en PM_{10} présentent globalement une tendance à la baisse sur la période 2019-2023 avec une valeur comprise entre 19 et 15 µg/m³. Celles-ci respectent largement la valeur réglementaire fixée à 40 µg/m³ en moyenne annuelle. De même, le seuil réglementaire établi à un maximum de 35 jours de dépassement de la moyenne journalière de 50 µg/m³ est largement respecté chaque année. Ces critères sont également respectés au niveau des deux stations de fond urbain. Concernant les particules $PM_{2.5}$, le seuil réglementaire établi à 25 µg/m³ en moyenne annuelle est également respectée sur les 5 dernières années au niveau des deux stations de fond urbain (Saint-Jean de 2019 à 2022 puis Saint-Jean de la Ruelle en 2023).

Benzène (C_6H_6)

Les concentrations mesurées au niveau de la station de fond urbain de Saint-Jean sont relativement faibles et homogènes (valeurs comprises entre 0,6 et 0,7 µg/m³). Elles sont largement inférieures à la valeur limite (5 µg/m³ en moyenne annuelle) et à l'objectif de qualité (2 µg/m³ en moyenne annuelle).

Synthèse

Ces résultats ne laissent pas envisager de dépassement des valeurs réglementaires concernant les concentrations de NO_2, de particules fines (PM_{10} et $PM_{2.5}$) et de benzène dans l'environnement de fond urbain de la zone de projet, ni en bordure du boulevard Gambetta objet du projet. Cependant une campagne de mesure in situ est réalisée afin d'étudier plus précisément la répartition des concentrations en NO_2, principal composé émis par le trafic routier en zone urbanisée, et ainsi de mieux définir l'état initial de la qualité de l'air dans l'environnement du projet.

II.5 Les plans de prévention de la pollution atmosphérique

II.5.1. Les plans à l'échelle nationale

Le **Plan national de réduction des émissions de polluants (PREPA)**, défini par l'arrêté du 10 mai 2017, est un plan d'action interministériel suivi une fois par an par le Conseil National de l'Air (CNA) et révisé tous les quatre ans. Inscrit dans l'article 64 dans la LTECV, le PREPA est composé d'une part d'un décret fixant des objectifs chiffrés de réduction des émissions des principaux polluants à l'horizon 2020, 2025 et 2030 et d'autre part d'un arrêté établissant les actions prioritaires retenues et leurs modalités opérationnelles permettant de réduire les émissions anthropiques de polluants dans l'atmosphère (dans les secteurs de l'industrie, transport et mobilité, résidentiel-tertiaire et agriculture) dans l'objectif principal de respecter les exigences européennes. Il combine les différents outils de politique publique : réglementations sectorielles, mesures fiscales, incitatives, actions de sensibilisation et de mobilisation des acteurs, action d'amélioration des connaissances… A la suite du précédent plan (2017-2021), un nouvel arrêté en date du 8 décembre 2022 définit de nouvelles actions à mettre en œuvre pour la période 2022-2025 parmi lesquelles les mesures dans le domaine du transport sont les suivantes :

- Favoriser la mise en place de plans de mobilité par les entreprises et les administrations
- Inciter l'utilisation du vélo
- Favoriser les mobilités partagées
- Favoriser le report modal vers le transport en commun
- Favoriser le report modal vers le ferroviaire
- Renforcer les dispositifs d'aides de l'Etat afin d'assurer la conversion des véhicules les plus polluants et l'achat de véhicules plus propres
- Mettre en œuvre des zones à faibles émissions mobilité (ZFE-m) par les collectivités
- Poursuivre le déploiement en équipement de certificats qualité de l'air (Crit'Air)
- Déploiement de bornes de recharges pour les véhicules électriques
- Poursuivre le renouvellement du parc public et des transports collectifs par des véhicules faiblement émetteurs
- Réduire les émissions de particules liées au freinage des véhicules
- Contrôler les émissions réelles des véhicules routiers
- Renforcer le contrôle technique des véhicules
- Soutenir l'adoption de nouvelles normes européennes ambitieuses
- Soutenir la transition écologique portuaire
- Renforcer les contrôles de la qualité des carburants marins

Le Plan National Santé Environnement (PNSE) précise les actions à mener sur l'ensemble du territoire français pour réduire les impacts des facteurs environnementaux sur la santé. Conformément à l'article L. 1311-6 du code de la santé publique, il doit être renouvelé tous les cinq ans. Le quatrième **Plan National en Santé Environnement (PNSE4)** établi pour la période 2020-2024 s'articule autour de 4 grands axes :

- Mieux connaître les expositions et les effets de l'environnement sur la santé des populations
- Informer, communiquer et former les professionnels et les citoyens
- Réduire les expositions environnementales affectant notre santé
- Démultiplier les actions concrètes menées dans les territoires

A travers ces différents enjeux, le PNSE4 contient différentes actions relatives à la qualité de l'air :

- L'action 13 prévoit d'améliorer la qualité de l'air intérieur au-delà des actions à la source sur les produits ménagers et les biocides.
- L'action 15 prévoit de créer une plate-forme collaborative pour les collectivités sur les actions en santé environnement et renforcer les moyens des territoires pour réduire les inégalités territoriales en santé-environnement.
- L'action 16 prévoit sensibiliser les urbanistes et aménageurs des territoires pour mieux prendre en compte les problématiques de santé et d'environnement dans les documents de planification territoriale et les opérations d'aménagement.

II.5.2. Les plans à l'échelle régionale

Le **Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE)** de la région Centre (rapport de juin 2012) a été élaboré conjointement par l'État et la Région Centre conformément à la loi dite « Grenelle II ». Il a été approuvé par arrêté préfectoral le 28 juin 2012 et qui reprend le PRQA de la région Centre (rapport de février 2010). Le SRCAE définit les grandes orientations et objectifs régionaux en matière de :

- Maitrise de la consommation énergétique
- Réduction des émissions de gaz à effets de serre
- Réduction de la pollution de l'air
- Adaptation aux changements climatiques
- Valorisation du potentiel d'énergies renouvelables de la région

Le SRCAE est désormais intégré dans le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET[2]) de la région Centre-Val de Loire qui a été adopté par le conseil régional le 19 décembre 2019 et approuvé par le préfet de région le 4 février 2020.

Le **Plan Régional Santé Environnement 3 (PRSE3)** est une déclinaison régionale des Plans Nationaux Santé Environnement. Il est élaboré conjointement par l'Agence régionale de santé, le conseil régional et la DREAL Centre-Val de Loire. Approuvé le 14 février 2017, le plan s'établit sur la période 2017-2021 et se compose de 34 actions présentées sous forme de fiches et structurées autour de 4 grandes thématiques :

- La qualité de l'air intérieur
- La qualité de l'air extérieur
- L'eau et les substances émergentes
- La santé et l'environnement dans les territoires

Le **Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air (PRSQA)** est une obligation réglementaire définie à l'article 5 du 21 octobre 2010 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public. Le troisième PRSQA de la région Centre-Val de Loire a été élaboré en cohérence avec les orientations nationales inscrites dans le premier Plan National de Surveillance de la Qualité de l'Air (PNSQA) établit pour la période 2016-2021 et prorogé pour une période 3 ans. Le PRSQA décline ses différentes orientations en 16 actions réparties autour de 5 axes :

- Adapter l'observatoire aux nouveaux enjeux
- Accompagner les acteurs dans l'action en faveur de la qualité de l'atmosphère
- Organiser la communication pour faciliter l'action
- Se donner les moyens d'anticipation
- Assurer la réussite du PRSQA

II.5.3. Les plans à l'échelle locale

Un **Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)** de l'agglomération orléanaise a été approuvé par arrêté préfectoral en date du 26 juillet 2006. Après révision, le **second PPA** de l'agglomération orléanaise a été adopté le 5 aout 2014 par le préfet de Région. Il fixe trois grands objectifs :

- Diminuer les niveaux de polluants dans l'atmosphère afin qu'ils ne dépassent plus les seuils réglementaires.
- Réduire les émissions d'oxydes d'azote (NO_X) et des particules PM_{10} respectivement de 35 % et de 28 % entre 2008 et 2015.
- Réduire l'exposition de la population en limitant le plus possible le nombre de personnes exposées à des dépassements de seuils réglementaires.

Pour atteindre ces objectifs, 24 actions de nature diverse (interdiction ou restriction d'usages, incitation, communication et sensibilisation amélioration des connaissances) sont proposées dans les secteurs suivants : transports, industrie, urbanisme et planification, agriculture…

[2] Le SRADDET a été institué par la loi NOTRe (loi n°2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République) dans le contexte de la mise en place des nouvelles régions en 2016.

En particulier, les 9 actions qui concernent le secteur des transports sont les suivantes :

- Prendre en compte la qualité de l'air dans les politiques de transport et fixer un objectif de réduction des émissions au PDU (6 % pour les particules et NO_X)
- Créer un lieu de concertation sur les transports afin de faciliter les interactions entre les différents acteurs
- Réduire la vitesse sur l'autoroute A10 à 110 km/h sur les tronçons habités exposés à des dépassements en NO_2
- Fluidifier le trafic dans le centre-ville
- Evaluer les évolutions induites par la mise en service des lignes de tramway et la reconfiguration du réseau de transports urbains
- Encourager les plans de déplacement entreprises (ou administrations) de plus de 250 salariés
- Développer les mobilités douces
- Développer les mobilités alternatives
- Pérenniser l'abonnement Transloire

La loi « Transition Energétique pour la Croissance Verte » du 17 aout 2015 a rendu obligatoire la réalisation d'un Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) depuis 1er janvier 2017 dans les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) à fiscalité propre de plus de 20 000 habitants. Le **PCAET de la métropole orléanaise** (qui comprend 22 communes dont la ville d'Orléans dans laquelle se situe l'opération d'aménagement) a été adopté en conseil métropolitain le 28 novembre 2019. Il s'articule autour de 6 axes stratégiques et couvre la période 2019-2025 :

- Promouvoir la sobriété et améliorer la performance énergétique et climatique des logements.
- Développer les énergies renouvelables et l'usage de produits biosourcés.
- Aménager le territoire dans la logique d'un territoire à énergie positive résilient aux changements climatiques et visant l'amélioration de la qualité de l'air.
- Développer une offre de mobilité adaptée à la diversité de l'espace et respectueuse de l'environnement et de la santé.
- Adapter l'organisation d'Orléans Métropole & accompagner le changement.
- Mobiliser les forces du territoire et les partenaires socioéconomiques.

Au total, de ces 6 axes découlent 33 actions dans de nombreux domaines : mobilité, urbanisme, énergie, bâtiments… dont certaines portent directement sur le volet qualité de l'air :

- Action n°11 : Inclure un volet qualité de l'air dans les projets de planification et d'urbanisme
- Action n°13 : Inscrire des prescriptions favorables aux enjeux Air/Energie/Climat dans le PLUm
- Action n°14 : Préserver et valoriser les espaces forestiers
- Action n°15 : Consolider la trame verte et bleue pour une stratégie biodiversité impactante
- Action n°20 : Accompagner à la conversion des modes de chauffages polluants
- Action n°21 : Élaborer un plan de mobilité pour les services de la Métropole
- Action n°22 : Soutenir les actions du Plan de Déplacements Urbains ayant un fort impact sanitaire et environnemental
- Action n°23 : Élaborer un schéma de développement de la motorisation alternative

III. ETAT INITIAL : CAMPAGNE DE MESURE

III.1 Prélèvement et analyse

III.1.1. Polluants mesurés

La note technique du 22/02/2019 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact indique que le polluant le plus adapté pour la qualification de l'état initial de la qualité de l'air est le dioxyde d'azote (NO_2). Pour les études de niveau II ou supérieur, des mesures complémentaires de particules PM_{10} peuvent être réalisée sur demande de l'autorité environnementale. En l'absence de spécifications dans le cadre de ce projet, seul le NO_2 est intégré aux mesures.

III.1.2. Mesure du dioxyde d'azote

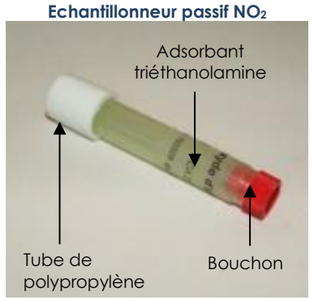
Les mesures du dioxyde d'azote (NO_2) sont réalisées par capteurs à diffusion passive, conformément à la norme NF EN 16339[3]. Le principe du prélèvement est celui de la diffusion naturelle de l'air à travers une cartouche contenant un adsorbant spécifique au NO_2 (triéthanolamine). Le débit de diffusion étant connu, la masse de polluant détectée sur le capteur à l'issue de la période d'exposition permet de calculer sa concentration dans l'air ambiant.

Les capteurs sont placés à l'intérieur de boîtes de protection afin de les protéger de la pluie et du vent. Les boîtes sont ensuite fixées en hauteur sur les supports verticaux disponibles sur le domaine public (poteaux, candélabres…). Après une période d'exposition de 2 semaines, les capteurs sont récupérés et envoyés en laboratoire pour extraire la masse piégée et doser le NO_2 par spectrométrie UV.

Les analyses sont réalisées par le laboratoire suisse Passam Ag accrédité ISO 17025 (STS 149) pour la mesure de la qualité de l'air ambiant par la méthode des tubes à diffusion passive utilisant des techniques de spectrophotométrie.

Cette méthode de prélèvement et d'analyse permet de mesurer une gamme de concentration en NO_2 de 1 à 200 µg/m³ avec une limite de quantification de 0,6 µg/m³ (pour deux semaines de mesure).

Echantillonneur passif NO_2



Boîte de protection

III.2 Plan d'échantillonnage

III.2.1. Points de mesure

En fonction des typologies d'exposition définies au paragraphe II.4.1 et de la dimension du projet, l'échantillonnage est établi pour **18 points de NO_2.**

Par ailleurs, un blanc de terrain (capteur non exposé permettant de contrôler l'absence de contamination durant le transport), un blanc de laboratoire et un point doublé (deux capteurs exposés au même emplacement pour établir la répétabilité) sont intégrés aux analyses du NO_2.

La localisation précise, les dates de prélèvement et les photographies figurent en annexe 2. Le tableau et la figure présentés ci-après illustrent la répartition des points de mesure.

N°	Type	Polluant(s) mesuré(s)	Localisation
P1	Fond urbain	NO_2	Rue Albert Lejeune (école Privée Catholique Saint Laurent)
P2	Fond urbain	NO_2	Rue de Limare (école maternelle Flora Tristan)
P3	Fond urbain	NO_2	Rue des Grands Champs (groupe scolaire Cours Saint Charles)
P4	Trafic	NO_2	Rue Porte Madeleine (crèche Orléans Kids Alexandra)
P5	Fond urbain	NO_2	Boulevard Alexandre Martin (crèche Les Explorateurs)
P6	Trafic	NO_2	Station Lig'Air « Gambetta »
P7	Trafic	NO_2	RD 2020
P8	Fond urbain	NO_2	Rue Creuse
P9	Trafic	NO_2	Carrefour Porte Saint-Jean
P10	Fond urbain	NO_2	Rue du Faubourg Saint-Jean
P11	Trafic	NO_2	Boulevard Rocheplatte
P12	Fond urbain	NO_2	Rue Bannier
P13	Fond urbain	NO_2	Gare d'Orléans
P14	Trafic	NO_2	Rue Albert 1er
P15	Trafic	NO_2	Boulevard Alexandre Martin
P16	Fond urbain	NO_2	Rue Eugène Vignat - 70 m nord boulevard Alexandre Martin
P17	Fond urbain	NO_2	Rue Eugène Vignat - 100 m nord boulevard Alexandre Martin
P18	Fond urbain	NO_2	Rue Eugène Vignat - 150 m nord boulevard Alexandre Martin

Tableau 6 : plan d'échantillonnage

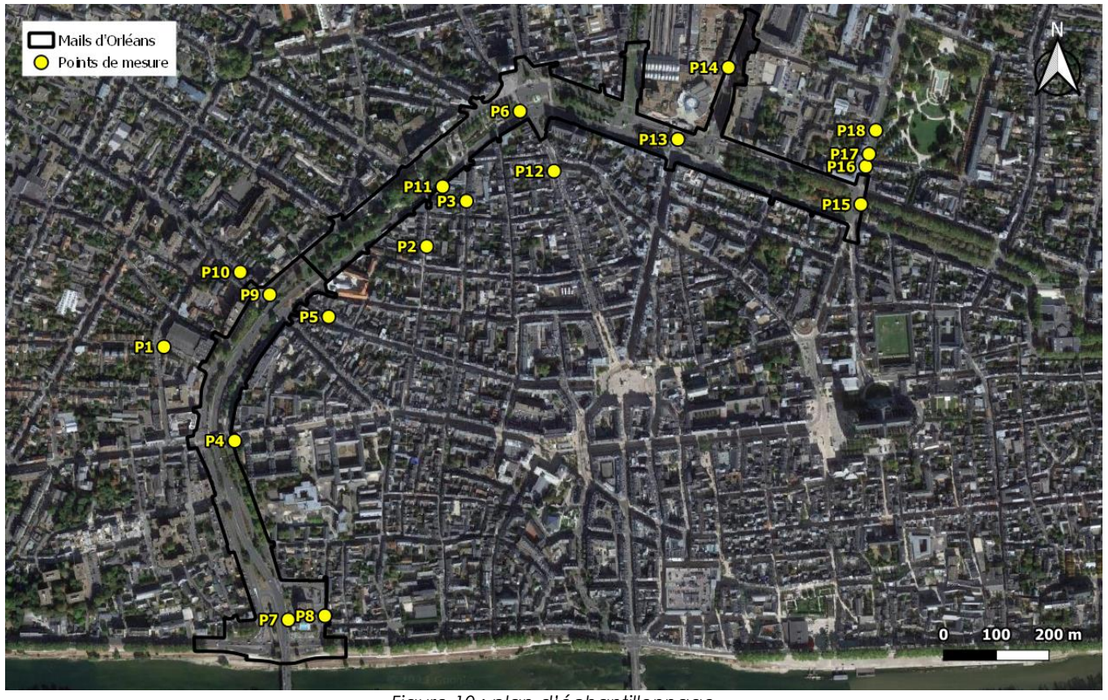


Figure 10 : plan d'échantillonnage

III.2.2. Période de mesure

Les concentrations en polluants atmosphériques présentent un comportement saisonnier marqué ce qui est principalement dû aux variations des sources d'émission et des conditions météorologiques. Dans le cadre de cette étude, une seule campagne de mesure est dimensionnée. Néanmoins, l'étude des conditions météorologiques et de pollution atmosphérique au cours de la campagne permet d'extrapoler les résultats à une situation annuelle.

La campagne de mesure est réalisée du **8 au 22 janvier 2024.**

[3] Norme NF EN 16339 : Air ambiant - Méthode pour la détermination de la concentration du dioxyde d'azote au moyen d'échantillonneurs par diffusion.

III.3 Résultats de la campagne

III.3.1. Conditions météorologiques

- Températures et précipitations :

La figure suivante présente la comparaison des températures et précipitations enregistrées pendant la campagne de mesure aux normales annuelles de la station Orléans :

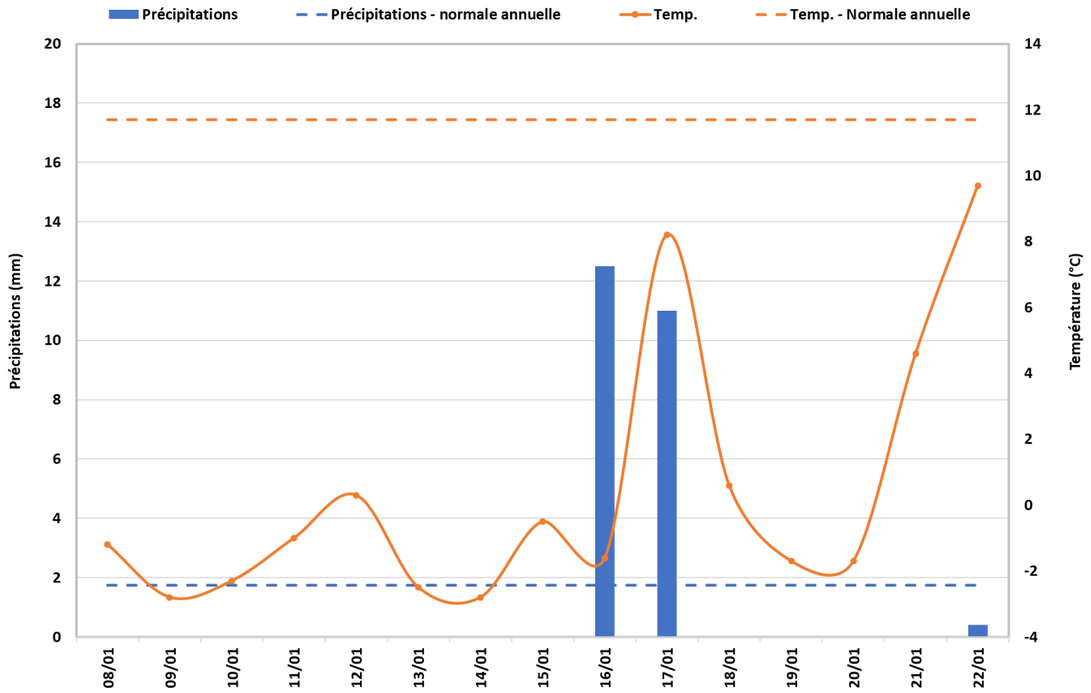


Figure 11 : étude des températures et précipitations (données : Météo France)

Les températures relevées lors de la campagne de mesure sont très inférieures à la normale annuelle (0,4°C en moyenne contre 11,7°C pour la normale), indiquant des conditions hivernales propices à une augmentation des concentrations en NO_2 par rapport à la moyenne annuelle. Par ailleurs, les précipitations sont équivalentes à la normale annuelle (1,6 m en cumul moyen journalier contre 1,7 mm pour la normale) ce qui ne laisse pas envisager d'impact significatif sur les concentrations en particules par rapport à la moyenne annuelle.

- Conditions de vent

Les conditions de dispersion sont représentées par la rose des vents au cours des mesures :

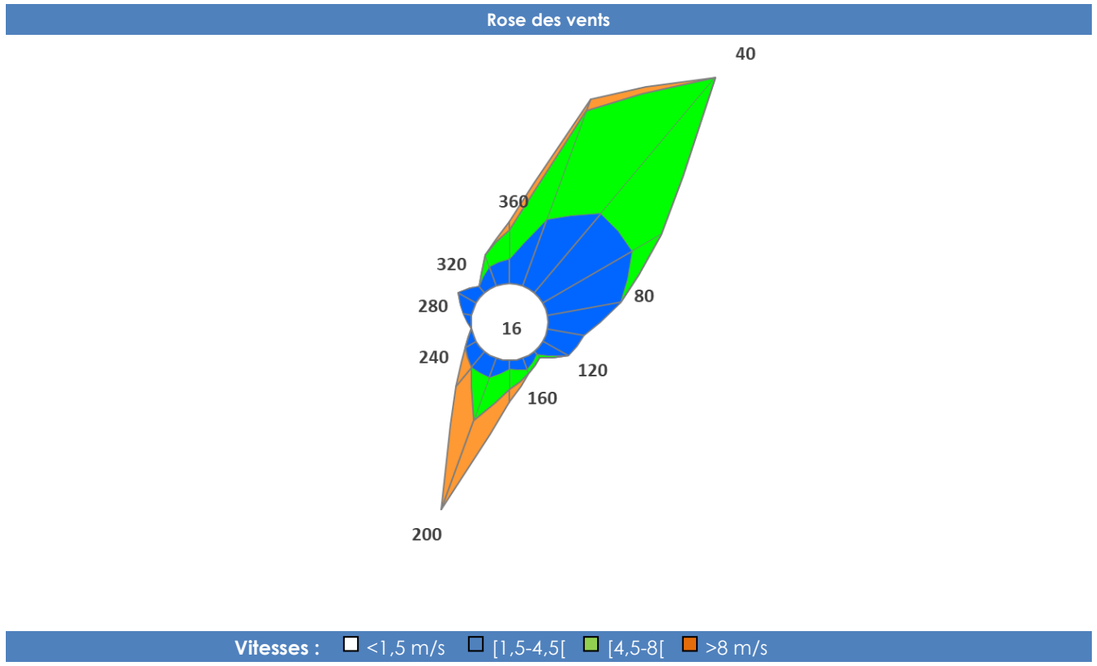


Figure 12 : étude des conditions de vent (données : Météo France)

La rose des vents est caractérisée par un secteur majoritaire nord-est et un secteur secondaire sud-ouest, tous deux représentatifs des normales (cf. paragraphe II.3.3). Les vitesses de vents relevées pendant la campagne sont relativement basses par rapport à la rose décennale (16 % des vents sont inférieurs à 1,5 m/s contre 10 % pour la normale), ce qui indique une faible dispersion et laisse envisager un impact de la pollution sur les points de mesure les plus proches des sources d'émission.

III.3.2. Conditions de pollution atmosphérique

Les concentrations en NO_2 enregistrées par le Lig'Air au niveau des stations « Gambetta » et « Saint-Jean de la Ruelle » sur l'année 2023 et la campagne de mesure sont comparées dans le tableau ci-dessous :

Station	Typologie	Moyenne Campagne (µg/m³)	Moyenne Année 2023 (µg/m³)	Ecart (%) Campagne / 2023
Gambetta	Trafic	26,9	21,1	+27 %
Saint-Jean de la Ruelle	Fond urbain	19,2	12,0	+60 %

Tableau 7 : étude des données Lig'Air

En lien avec les conditions météorologiques (températures froides et vents faibles), les teneurs en NO_2 mesurées lors de la campagne de mesure sont plus fortes que la moyenne annuelle de l'année précédente (+27 % en proximité de trafic et +60 % en situation de fond urbain).

III.3.3. Validité des mesures par capteurs passif

La validité des mesures par capteurs passifs est établie par les deux facteurs suivants :

- L'analyse d'un capteur non exposé (appelé « blanc ») ayant été transporté avec les échantillons lors de tous les trajets entre le laboratoire et les sites de mesure. L'analyse du blanc permet de quantifier la présence résiduelle de polluants gazeux sur les supports non liée à l'air échantillonné.

- La détermination de la répétabilité par l'exposition de deux cartouches au même point de mesure dans les mêmes conditions. Le résultat du calcul de l'écart standard[4] sur les valeurs obtenues permet de situer les mesures par rapport aux biais éventuels engendrés par la méthode de prélèvement et d'analyse.

Facteurs de validité	NO_2
Concentration du blanc pour une exposition théorique de 2 semaines	< 0,6 µg/m³
Concentration moyenne doublet	25,9 µg/m³
Ecart standard du doublet	1,0 %
Incertitude théorique élargie (donnée Passam)	20,3 %

Tableau 8 : facteurs de validité des mesures

La concentration en NO_2 mesurée sur le blanc est inférieure à la limite de détection, indiquant l'absence de contamination des supports. L'incertitude élargie représente l'écart maximal pouvant être obtenu sur une mesure en incluant tous les biais potentiels liés au prélèvement et à l'analyse avec un intervalle de confiance de 95 %. L'écart standard calculé sur les résultats du doublet est inférieur à cette incertitude et indique donc une bonne répétabilité de la mesure.

III.3.4. Concentrations en NO_2

Les concentrations en NO_2 mesurées sur chaque point sont présentées dans le tableau suivant :

Concentration (µg/m³)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Typologie	FU	FU	FU	T	FU	T	T	FU	T
NO_2	25,9	26,1	25,5	37,9	23,6	33,6	34,8	27,3	39,5
Concentration (µg/m³)	**P10**	**P11**	**P12**	**P13**	**P14**	**P15**	**P16**	**P17**	**P18**
Typologie	FU	T	FU	FU	T	T	FU	FU	FU
NO_2	37,2	43,8	28,3	25,6	39,4	35,1	26,7	26,6	27,6

Tableau 9 : résultats des mesures NO_2

III.3.5. Cartographie des résultats

Les résultats sont présentés sur fond de carte de la zone d'étude en figure 13 :

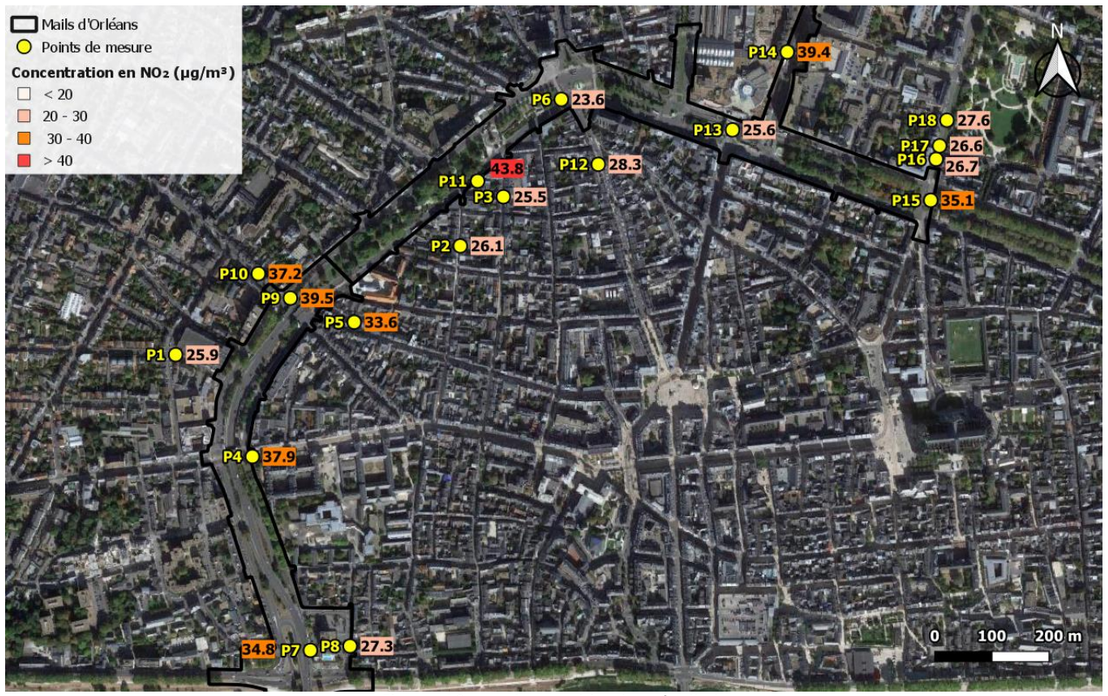


Figure 13 : cartographie des résultats

Les concentrations en NO_2 mesurées dans la zone d'étude sont modérées à fortes, avec des valeurs comprises entre 24 et 44 µg/m³. Les points de trafic P4, P9, P11 et P14 présentent les concentrations parmi les plus élevées, avec des valeurs supérieures à 37 µg/m³, ce qui s'explique par leur proximité avec les axes routiers les plus fréquentés (boulevards Jean Jaurès et Rocheplatte pour les trois premiers, rue Albert 1er pour le dernier). Globalement, les points de fond urbain enregistrent des concentrations plus faibles (inférieures à 30 µg/m³).

[4] Ecart standard : critère de dispersion pour une série de données correspondant à la moyenne des écarts entre les valeurs observées (écart type) et la moyenne des valeurs observées.

III.4 Comparaison à la réglementation

III.4.1. Cadre réglementaire

Les valeurs utilisées pour comparer les résultats de la campagne de mesure à la réglementation sont issues du décret n°2010-1250 (cf. annexe 1). La comparaison aux moyennes annuelles est réalisée uniquement à titre indicatif étant donné que les résultats ne sont représentatifs que de deux semaines de mesure[5] et que les projets d'aménagement ne sont pas soumis au respect de ce type de valeurs[6].

Le graphique suivant présente les concentrations mesurées au cours de la période de mesure, associées à une barre d'erreur indiquant la valeur attendue en moyenne annuelle d'après les conditions de la campagne observées au niveau des stations du réseau local de la qualité de l'air (cf. paragraphe III.3.2.

III.4.2. Dioxyde d'azote (NO_2)

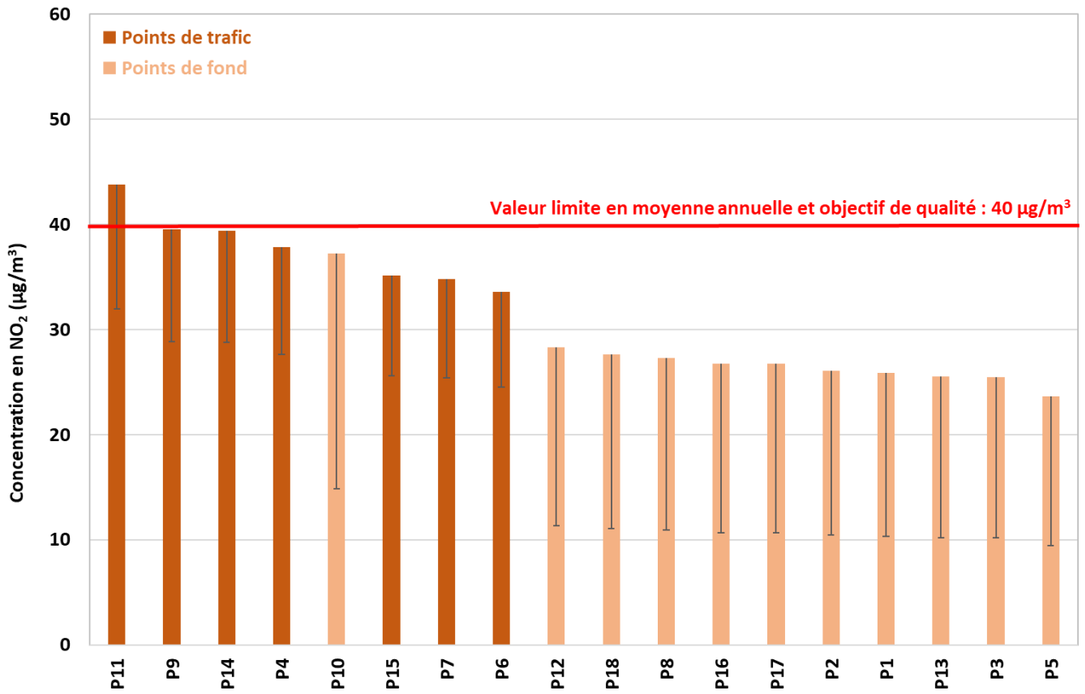


Figure 14 : comparaison des résultats des mesures NO_2 à la réglementation

La distribution des concentrations est cohérente avec la typologie des points de mesure. Durant la période de mesure, seul le point de trafic P11 (boulevard Rocheplatte) présente une concentration supérieure à 40 µg/m³. En revanche la campagne de mesure se caractérise par des teneurs en NO_2 plus fortes que la moyenne de l'année précédente (+27 % en proximité de trafic et +60 % en fond urbain), ce qui ne laisse pas envisager de dépassement à l'échelle annuelle.

[5] La directive européenne du 21 mai 2008 qui indique que les mesures de la qualité de l'air par méthode indicative peuvent être considérées comme représentatives d'une situation annuelle si elles sont réalisées durant un minimum de huit semaines uniformément réparties dans l'année.

[6] Arrêt n°11NC01593 du 7 février 2013 rendu par la Cour Administrative d'Appel de Nancy, qui précise que si les valeurs limites réglementaires constituent un objectif à rechercher dans l'élaboration de tout projet, elles ne constituent pas pour autant une prescription s'imposant en tant que telles à un projet.

IV. EFFETS DU PROJET : ESTIMATION DES EMISSIONS POLLUANTES

IV.1 Méthodologie

IV.1.1. Méthode de calcul

Le modèle de calcul des émissions mis en œuvre est le logiciel **TREFIC™** (TRaffic Emission Factors Improved Calculation) version 5.1.2 qui utilise les données d'entrée suivantes :

- Le trafic moyen journalier annuel (TMJA) pour les véhicules légers et les poids lourds, ainsi que leur vitesse moyenne sur chaque axe et pour chaque scénario
- La répartition du parc de véhicules pour chaque scénario
- Les facteurs d'émissions polluantes de chaque catégorie de véhicule
- Les conditions météorologiques moyennes sur la zone d'étude (températures et précipitations)

Les résultats présentent les émissions des polluants à effet sanitaire (PES) cités par le guide méthodologique issu de la note technique du 22 février 2019 :

- Oxydes d'azote (NO_X)
- Dioxyde de soufre (SO_2)
- Monoxyde de carbone (CO)
- Benzo[a]pyrène
- Composés Organiques Volatils (COV)
- Benzène (C_6H_6)
- Particules ($PM_{2.5}$ et PM_{10})
- Arsenic (As) et nickel (Ni)

En complément, les résultats présentent la consommation énergétique et les émissions des principaux gaz à effet de serre (GES) : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O).

IV.1.2. Parc de véhicules

La répartition du parc automobile est issue des projections de l'Université Gustave Eiffel (ex-IFSTTAR) établies notamment en fonction du type de voie (urbain, route, autoroute), des catégories de véhicules, du carburant/énergie et de la norme Euro. Deux scénarios d'évolution de cette répartition jusqu'en 2050 sont disponibles :

- Scénario « S1-AME » qui intègre uniquement les mesures actuelles portées par l'Etat français sur la consommation d'énergie et les gaz à effet de serre.
- Scénario « S2-AMS » qui considère l'atteinte des objectifs énergétiques et climatiques de neutralité carbone en 2050 sur la base de la stratégie nationale bas carbone (SNBC).

Dans une approche majorante, le scénario retenu dans le cadre de cette étude est le scénario **S1-AME**.

NB : Les statistiques de l'Université Gustave Eiffel ne couvrent pas les années postérieures à 2050. Dans le cas des scénarios plus lointains, la composition du parc roulant est donc considérée équivalente à celle de 2050.

IV.1.3. Facteurs d'émissions unitaires

On appelle "facteur d'émission" les quantités de polluants en g/km rejetées par type de véhicule. Pour la consommation, les données sont fournies en tep/km (Tonne Equivalent Pétrole). Les facteurs d'émission proviennent d'expérimentations sur banc d'essais ou en conditions réelles. Ils dépendent :

- Des caractéristiques du véhicule (catégorie de véhicule, type de carburant, norme Euro…)
- Du "cycle" (trajet urbain, autoroute, moteur froid/chaud) et de la vitesse du véhicule
- De la température ambiante (pour les émissions à froid)

Les facteurs d'émissions utilisés pour l'étude sont ceux du programme **COPERT 5** (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport) dont le développement technique est financé par l'Agence Européenne de l'Environnement. Ce modèle résulte d'un consensus européen entre les principaux centres de recherche sur les transports. Son utilisation est préconisée par le CEREMA pour la réalisation des études d'impact du trafic routier.

IV.1.4. Scénarios considérés

Trois scénarios d'émissions sont pris en compte pour estimer l'impact du projet :

- La situation actuelle (2023)
- La situation future sans projet (2030)
- La situation future avec projet (2030)

IV.1.5. Données de trafic

Les données de trafic pour les trois scénarios sont fournies par Orléans Métropole.

IV.1.6. Bande d'étude

Les données de trafic permettent de définir la bande d'étude conformément au tableau 10 :

TMJA à l'horizon d'étude (véh/jour)	Largeur minimale de la bande d'étude centrée sur l'axe de la voie (m)
T > 50 000	600
25 000 > T ≤ 50 000	400
10 000 > T ≤25 000	300
≤ 10 000	200

Tableau 10 : définition de la bande d'étude (note technique du 22/02/2019)

La figure 15 présente la bande d'étude du projet :

Figure 15 : bande d'étude

IV.2 Résultats du calcul des émissions polluantes

IV.2.1. Emissions polluantes globales

Les tableaux ci-dessous présentent les variations des émissions totales sur l'ensemble du réseau routier considéré pour les polluants à effets sanitaires (PES) et les gaz à effet de serre (GES) :

Emissions	Unité	Actuel	Futur sans projet	Variation Futur sans projet / Actuel	Futur avec projet	Variation Futur avec projet / Actuel	Variation Futur avec projet / sans projet
CO	kg/j	55,0	41,5	-25 %	34,4	-37,4%	-17,0%
Benzène	g/j	78,1	37,5	-52 %	31,0	-60,3%	-17,2%
Benzo[a]pyrène	g/j	0,13	0,11	-11 %	0,09	-26,3%	-17,0%
Arsenic	mg/j	1,5	1,6	6 %	1,3	-11,8%	-16,7%
SO_2	kg/j	0,35	0,38	8 %	0,31	-10,5%	-16,9%
Nickel	mg/j	9,0	9,8	10 %	8,2	-9,0%	-17,1%
COVNM	kg/j	1,82	1,11	-39 %	0,95	-48,2%	-15,0%
NO_X	kg/j	42,4	33,1	-22 %	27,7	-34,6%	-16,2%
$PM_{2.5}$	kg/j	3,2	3,0	-9 %	2,5	-23,8%	-16,4%
PM_{10}	kg/j	4,8	4,6	-5 %	3,8	-20,2%	-16,3%

Tableau 11 : bilan des émissions de PES

Emissions	Unité	Actuel	Futur sans projet	Variation Futur sans projet / Actuel	Futur avec projet	Variation Futur avec projet / Actuel	Variation Futur avec projet / sans projet
Consommation	tep/j	7,8	7,9	1 %	6,6	-14,9%	-16,2%
CO_2	t/j	24,6	25,0	1 %	20,9	-15,0%	-16,2%
N_2O	kg/j	1,3	1,2	-6 %	1,0	-21,0%	-16,0%
CH_4	g/j	558,2	445,2	-20 %	373,0	-33,2%	-16,2%

Tableau 12 : bilan des émissions de GES

Une baisse globale des émissions de PES peut être constatée entre le scénario futur sans projet et le scénario actuel (environ -13,9 % en moyenne). Celle-ci s'explique par les hypothèses de mise en circulation de véhicules moins émissifs sur la majorité des polluants (NO_X, CO, benzène, PM_{10}, $PM_{2.5}$…) entre 2023 et 2030 sur la base des données IFSTTAR.

A horizon 2028, la variation du trafic routier dans la zone d'étude entre le scénario avec projet et le scénario fil de l'eau entraine une diminution de l'ensemble des émissions comprises entre -15,0 et -17,2 % (baisse de -16,2 % pour les NO_X et le CO_2). Celle-ci est principalement due à la diminution du nombre de véhicules/km parcourus entre les deux scénarios (-15 % au global).

Globalement le scénario avec projet entraîne une diminution d'environ -17 % des émissions polluantes par rapport au scénario sans projet à l'horizon 2030.

IV.3 Monétarisation des coûts

IV.3.1. Coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique

L'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances induits pour la collectivité dans les études d'impact a été introduite via le décret n°2003-767 du 1er août 2003. La commission présidée par Emile Quinet a réévalué les valeurs utilisées pour calculer ces coûts en 2013. Celles-ci sont décrites dans le rapport du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective (CGSP) intitulé *« Évaluation socioéconomique des investissements publiques »* de septembre 2013.

Le rapport évalue le coût des impacts sanitaires des principaux polluants émis par la circulation routière ($PM_{2.5}$, NO_X, COVNM et SO_2) pour l'année de référence 2010. Ce coût varie selon la catégorie de véhicules (véhicules particuliers ou poids lourds) ainsi que selon la densité urbaine. Le tableau 13 présente les valeurs tutélaires fixées selon ces paramètres :

Typologie	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Plage de densité (hab./km²)	0-37	37-450	450-1500	1500-4500	>4500
Coût VP (€/100 Véh.km)	0,9	1,0	1,3	3,1	11,1
Coût PL (€/100 Véh.km)	6,4	9,4	17,7	37,0	186,6

Tableau 13 : valeurs tutélaires du coût de la pollution liée au trafic routier

La densité de population dans la zone d'étude est prise égale à la densité de population de la ville d'Orléans avec 4 244 habitants/km² (données Insee 2021). Les valeurs tutélaires sont donc sélectionnées sur la gamme « urbain dense ».

Le rapport de la commission Quinet précise qu'il est nécessaire de « *faire évoluer les valeurs de la pollution atmosphérique en tenant compte, d'une part, de l'évolution du PIB par tête et d'autre part, de l'évolution du parc circulant et de l'évolution des émissions individuelles* ». Les hypothèses d'évolution considérées pour le calcul des coûts collectifs sont décrites ci-dessous :

- Le PIB par habitant n'est connu qu'à échéance de l'année civile. La dernière donnée disponible est celle de l'année 2022. Entre 2010 et 2022, la moyenne annuelle de l'évolution du PIB par habitant est de 0,68 % en France selon les chiffres de la Banque Mondiale[7]. Ce chiffre est utilisé pour estimer l'évolution annuelle du PIB jusqu'à l'horizon de mise en service du projet.

- L'évolution du parc circulant entre 2010 et 2022 est de 0,87 % en moyenne annuelle d'après les statistiques du ministère de la Transition écologique et solidaire[8]. L'évolution du trafic entre le scénario actuel et le scénario futur est prise d'après les données de l'étude de circulation.

- L'évolution des émissions polluantes des véhicules depuis 2010 est prise à -6 % en moyenne annuelle conformément à la valeur proposée par le rapport Quinet. L'évolution entre le scénario actuel et les scénarios futurs est reprise des calculs effectués dans le paragraphe IV.2.1[9].

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des valeurs considérées pour l'évolution des valeurs tutélaires :

	Actuel		Futur sans projet		Futur avec projet	
	Brut	Evolution / 2010	Brut	Evolution / 2010	Brut	Evolution / 2010
PIB par habitant (€)	35 222	9,4%	36 431	13,2%	36 431	13,2%
TMJA total du projet (véh/j)	1 915 012	11,9%	2 053 141	20,0%	1 606 449	-6,1%
Emissions $PM_{2.5}$ + NO_X + COVNM + SO_2 (kg/j)	5,4	-55,3%	4,4	-63,3%	3,7	-69,2%
Evolution globale		**-45,2%**		**-50,1%**		**-67,3%**

Tableau 14 : facteurs d'évolution des valeurs tutélaires

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs tutélaires retenues avant et après ajustement des coûts à l'horizon de la mise en service du projet :

Scénario	2010	Actuel	Futur sans projet	Futur avec projet
Evolution globale depuis 2010	0,0%	-45,2%	-50,1%	-67,3%
Valeur tutélaire VP (€/100 véh.km)	3,1	1,7	1,5	1,0
Valeur tutélaire PL (€/100 véh.km)	37,0	20,3	18,5	12,1

Tableau 15 : valeurs tutélaires retenues pour le coût de la pollution

A partir des données de circulation et de la longueur de chacun des brins routiers impactés par le projet, la quantité de trafic est exprimée en véhicules.km pour chaque scénario. Les résultats sont multipliés par les valeurs tutélaires pour calculer les coûts collectifs.

Scénario	Actuel	Futur sans projet	Futur avec projet
Trafic VP (véh.km)/j	147 727	150 379	126 982
Trafic PL (véh.km)/j	1 973	2 251	2 225
Coût VP (€/j)	2 510	2 325	1 289
Coût PL (€/j)	400	415	270
Coût total (€/j)	**2910**	**2740**	**1559**

Tableau 16 : coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique

Les coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique **diminuent d'environ 43 %** avec la mise en place du projet.

IV.3.2. Coûts collectifs liés à l'effet de serre

La valeur tutélaire du carbone est fixée par le rapport de la commission présidée par Alain Quinet publié en 2019[10]. Ce rapport prévoit une évolution linéaire de la tonne de CO_2 de 32 € en 2010 jusqu'à 250 € en 2030, correspondant à une évolution annuelle d'environ 13,6 %. Il prévoit également une évolution linéaire de la tonne de CO_2 de 500 € en 2040 à 775 € en 2050, correspondant à une évolution annuelle d'environ 4,5 %. Le tableau suivant présente les coûts correspondant à chaque scénario du projet.

	Actuel	Futur sans projet	Futur avec projet
Coût de la tonne de CO_2 (€/t)	173,7	228,2	228,2
CO_2 émis (t/j)	24,6	25,0	20,9
Coût CO_2 émis (€/j)	**4273,1**	**5693,8**	**4773,6**

Tableau 17 : coûts collectifs liés à l'effet de serre

La mise en place du projet entraîne **une diminution d'environ 16 %** des coûts collectifs liés à l'effet de serre par rapport à la situation sans projet.

[7] La Banque Mondiale. Croissance du PIB par habitant entre 2010 et 2019.
[8] Service de la donnée et des études statistiques. Développement Durable. Données sur le parc des véhicules au 1er janvier 2020.
[9] A l'exception des particules $PM_{2.5}$ qui ne figurent pas dans le bilan des émissions car cette fraction granulométrique est déjà comprise dans les PM_{10}. Les données pour les $PM_{2.5}$ sont reprises des résultats des calculs d'émissions par le logiciel TREFIC™.
[10] La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques Rapport de la commission présidée par Alain Quinet. Fév. 2019. Centre d'analyse stratégique. La Documentation française.

V. EFFETS DU PROJET : MODELISATION DES CONCENTRATIONS

V.1 Méthodologie

V.1.1. Modèle

La modélisation des concentrations est réalisée à l'aide du logiciel **Aria Impact™** qui combine le modèle AIM, développé par la société Aria Technologies avec le modèle AERMOD de l'agence américaine de protection de l'environnement (US EPA). Il s'agit d'un modèle de dispersion atmosphérique 2D de type gaussien. Les concentrations sont modélisées sur des mailles de calcul de 40x40 m à partir des sources d'émissions linéiques issues du trafic routier, puis additionnées aux concentrations de fond en polluants atmosphériques dans la zone d'étude. Les données d'entrée utilisées sont détaillées ci-après.

V.1.2. Emissions polluantes

Les émissions de polluants atmosphériques liées au trafic routier sont issues du logiciel TREFIC™ dont les résultats sont présentés dans le chapitre précédent.

Les émissions calculées pour les NOx sont converties en NO_2 selon la formule de Middleton :

$$[NO_2] = 2{,}166 - [NO_x](1{,}236 - 3{,}348 \times log\,([NO_x]) + 1{,}933 \times log\,([NO_x])^2 - 0{,}326 \times log\,([NO_x])^3$$

$$[NO] = [NO_x] - [NO_2] \qquad où\ [NO], [NO_2]\ et\ [NO_x]\ sont\ les\ concentrations\ en\ ppb$$

V.1.3. Météorologie

La dispersion est modélisée avec les données horaires de vent sur 1 an (2023) acquises auprès de la station Météo France d'Orléans Bricy (54). La figure 16 présente la rose des vents des données utilisées. La rose des vents est majoritairement caractérisée par un axe sud-ouest/nord-est.

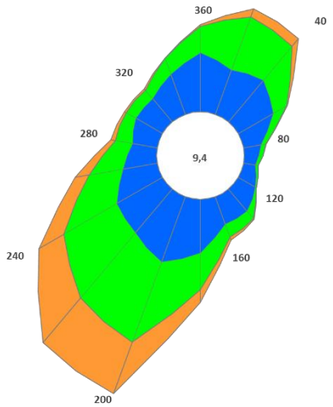


Figure 16 : rose de vents utilisée pour la modélisation

V.1.4. Topographie

La topographie est issue du modèle numérique de terrain (MNT) RGE ALTI® produit par l'IGN avec une résolution de 25 mètres. Ce dernier est mis à jour à partir des relevés obtenus par LIDAR aéroporté ou par corrélation d'images aériennes. La figure 17 présente une vue 2D de la topographie du domaine d'étude indiquant un relief peu marqué ne laissant pas envisager d'effets significatifs sur la dispersion des polluants.

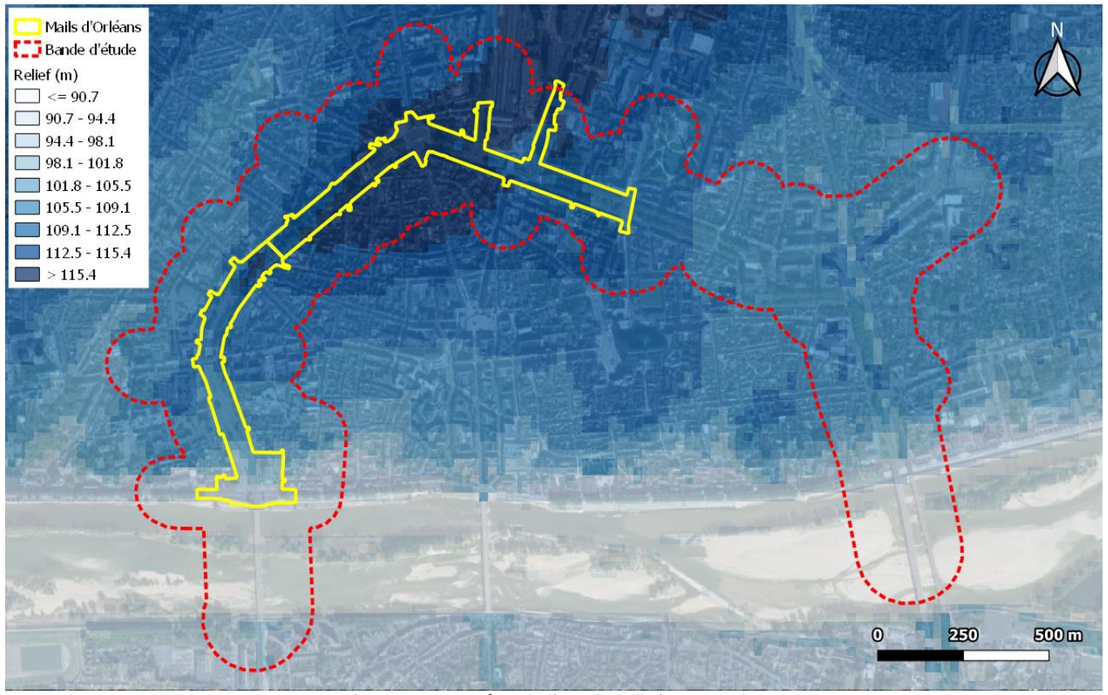


Figure 17 : représentation du relief en vue 2D

V.1.5. Pollution de fond

Les valeurs utilisées pour caractériser les concentrations de fond sont prises d'après les sources suivantes :

Polluant	Source
NO_2	Moyenne des concentrations mesurées au niveau des points de fond lors de la campagne réalisée par Rincent Air en juin 2024, rationnalisée par rapport à la moyenne annuelle 2023 de la station de fond urbain la plus proche présentant ces données (Saint-Jean de la Ruelle).
PM_{10} $PM_{2.5}$	Moyenne annuelle 2023 de la station de fond urbain la plus proche présentant ces données (Saint-Jean de la Ruelle).
Benzène BaP	Moyenne annuelle 2022 (2023 non disponible) de la station de fond urbain la plus proche présentant ces données (Saint-Jean).
ETM Autres HAP 1,3 butadiène	Médiane des concentrations de fond en France d'après la base de données Ineris[11]. *NB : la valeur pour le chrome VI est estimée à partir des concentrations de fond en chrome total d'après le ratio maximal déterminé par les études bibliographiques disponibles[12].*

Tableau 18 : sources utilisées pour le bruit de fond

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des valeurs utilisées pour caractériser le bruit de fond :

Polluant	µg/m³	Polluant	µg/m³	Polluant	µg/m³
NO_2	12,0	Anthracène	0,0003	Dibenzo(a,h)anthracène	0,00004
Particules PM_{10}	16,0	Benzo(a)anthracène	0,0002	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,0003
Particules $PM_{2.5}$	10,4	Benzo(a)pyrène	0,000147	Acénaphtène	0,0003
Benzène	0,5	Benzo(b)fluoranthène	0,0004	Acénaphtylène	0,0003
1,3-butadiène	0,2	Benzo(k)fluoranthène	0,0002	Fluorène	0,0015
Arsenic	0,0005	Benzo(j)fluoranthène	0,0004	Fluoranthène	0,0018
Chrome VI	0,0000525	Benzo(ghi)pérylène	0,0004	Phénanthrène	0,0051
Nickel	0,0002	Chrysène	0,0004	Pyrène	0,0013

Tableau 19 : concentrations de fond utilisées

[11] INERIS – Rapport d'étude n°DRC-08-94882-15772A – 10/04/2009 : Inventaire des données de bruit de fond dans l'air ambiant, l'air intérieur, les eaux de surface et les produits destinés à l'alimentation humaine en France.

[12] Tirez et al. (2011) : ratios CrVI/Cr de 2,6 à 3,5 % mesuré à proximité et à distance de sources anthropogéniques en région flamande, Belgique.

V.2 Résultats de la modélisation

V.2.1. Cartographies des concentrations

Les résultats sont présentés pour le NO_2, polluant le plus représentatif de la pollution liée au trafic routier :

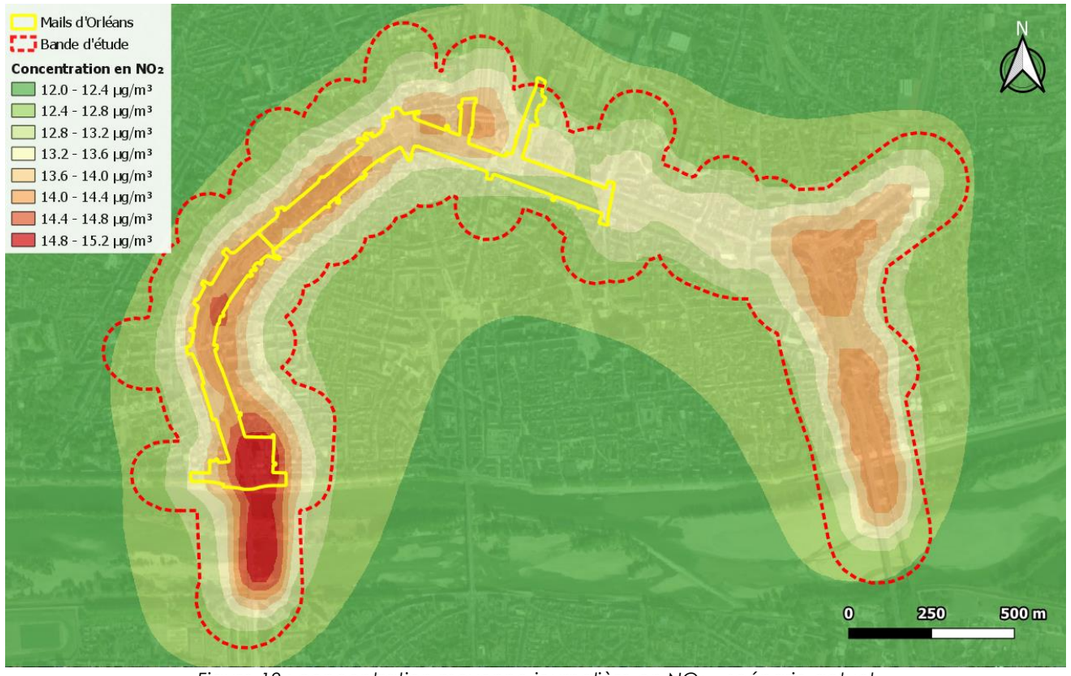


Figure 18 : concentration moyenne journalière en NO_2 – scénario actuel

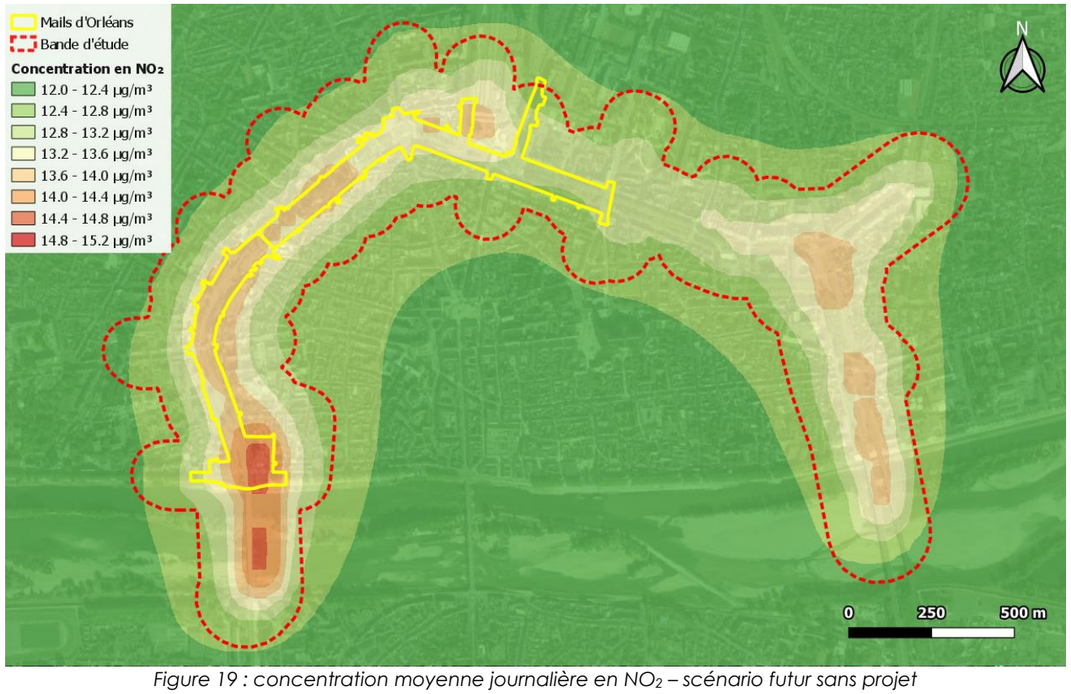


Figure 19 : concentration moyenne journalière en NO_2 – scénario futur sans projet

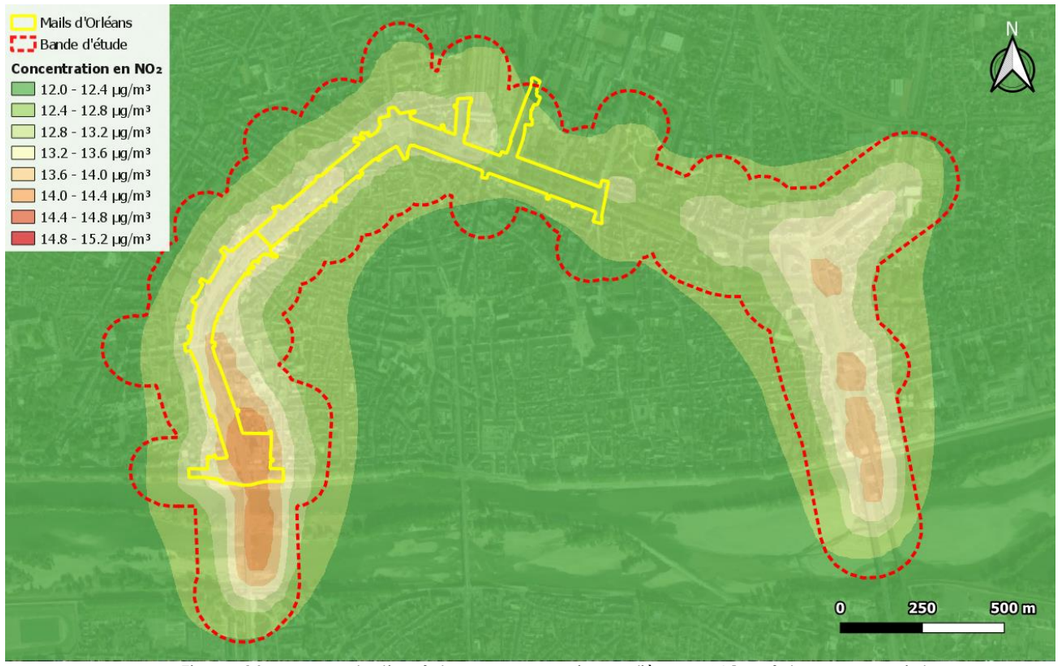


Figure 20 : concentration future moyenne journalière en NO_2 – futur avec projet

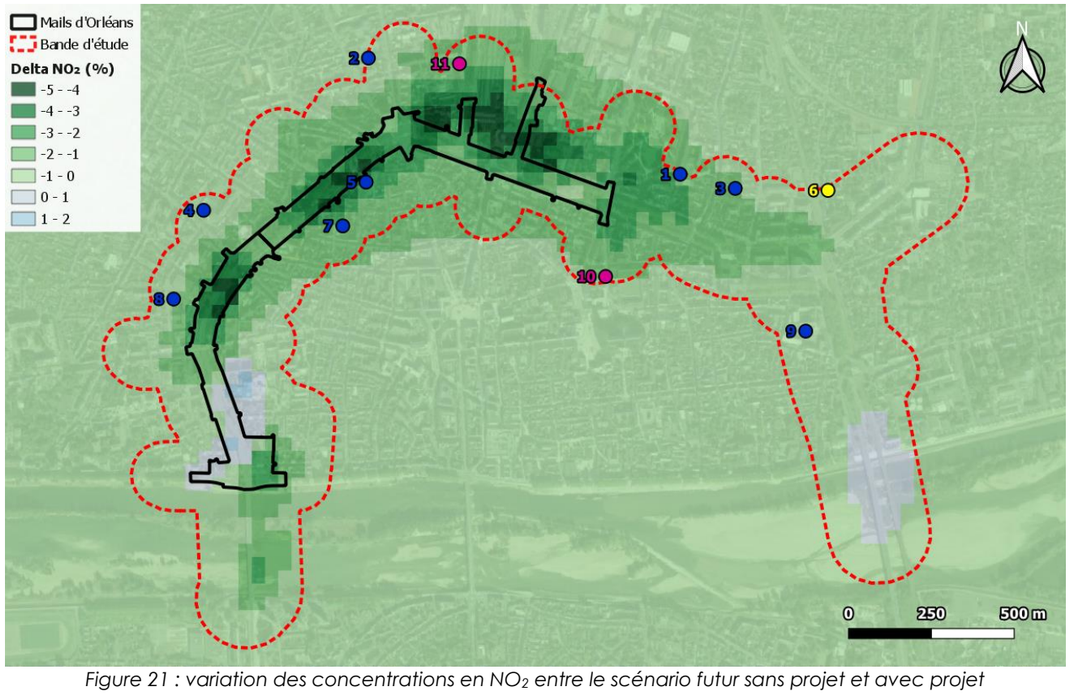


Figure 21 : variation des concentrations en NO_2 entre le scénario futur sans projet et avec projet

La grande majorité des variations observées entre les scénarios avec et sans projet sont de légères diminutions (-1 à -5 %). Les diminutions les plus importantes (-4 à -5 %) sont observées boulevard de Verdun à proximité de la gare, boulevard Rocheplatte et au nord du boulevard du Jean Jaurès. Seules deux zones présentent de légères augmentations (de +1 à +2 %) : le boulevard Jean Jaurès à l'entrée du pont du Maréchal Joffre, ainsi qu'au nord du pont René Thinat.

V.2.2. Concentrations sur les points d'intérêt

Le tableau suivant présente les concentrations annuelles en NO_2 modélisées au niveau des différents points d'intérêts dans la bande d'étude :

	Concentration annuelle NO_2 (µg/m³)			Variation (%)	
Point d'intérêt	Actuel	Futur sans projet	Futur avec projet	Futur sans projet / actuel	Futur avec projet / futur sans projet
Moyenne	13,07	12,84	12,70	-1,8 %	-1,1 %
Lycée polyvalent Jean Zay	12,93	12,75	12,52	-1,4 %	-1,8 %
Ecole André Dessaux	12,43	12,34	12,26	-0,7 %	-0,7 %
Ecole Saint Vincent	12,96	12,78	12,63	-1,4 %	-1,1 %
Ecole Louis Guilloux	12,47	12,37	12,30	-0,8 %	-0,6 %
Collège Saint Charles	13,72	13,35	12,84	-2,7 %	-3,8 %
EHPAD Petites Sœurs des Pauvres	12,84	12,66	12,58	-1,4 %	-0,6 %
Ecole Flora Tristan	13,01	12,80	12,59	-1,6 %	-1,6 %
Ecole Saint Laurent	12,82	12,66	12,52	-1,3 %	-1,0 %
Lycée Sainte-Croix Saint Euverte	13,00	12,77	12,71	-1,8 %	-0,4 %
Crèche LPCR Centre	12,60	12,48	12,34	-1,0 %	-1,1 %
Crèche LPCR Gare	12,72	12,57	12,39	-1,2 %	-1,5 %

Tableau 20 : concentrations moyennes en NO_2 sur les points d'intérêt

Une diminution globale des concentrations de NO_2 de -1,8 % (de -4,6 à 0 %) est observée en moyenne dans la bande d'étude entre l'état initial (2023) et le scénario futur sans projet (2028). De même, une diminution des concentrations au droit de tous les sites vulnérables situés dans la bande d'étude est constatée, allant de -0,8 % au niveau de l'école Louis Guilloux à -2,7 % au niveau du collège Saint-Charles. Cette diminution globale s'explique par l'amélioration technologique des véhicules puisque le nombre de véh.km augmente entre le scénario actuel (149 700) et le scénario futur sans projet (152 630).

Une diminution globale de 1,1 % (de -4,9 à -1,5 %) dans la bande d'étude est observée entre le scénario futur avec projet et le scénario futur sans projet. Une diminution est également observée au droit de chaque site vulnérable, de -0,4 % au niveau du Lycée Sainte-Croix Saint Euverte à -3,8 % au niveau du collège Saint-Charles.

V.2.3. Indice IPP

Pour évaluer l'impact d'un projet sur les populations, le Cerema a développé une méthode qui consiste à croiser les concentrations modélisées et le nombre d'habitants sur la bande d'étude. Le produit « population x concentration » fournit ainsi un indicateur appelé IPP (indice pollution population) qui représente de manière synthétique l'exposition potentielle des personnes à la pollution atmosphérique. Cet indice est calculé pour le NO_2, conformément à la note technique du 22 février 2019, selon la formule suivante :

$$IPP = \sum_i IPP_i = \sum_i C_i \times P_i$$

Où : IPP_i est l'IPP à l'échelle d'une maille i ou d'un bâtiment i
C_i est la concentration en NO_2 pour la maille élémentaire i ou pour le bâtiment i
P_i est la population présente sur la maille élémentaire i ou dans le bâtiment i

L'INSEE met à disposition les données de population issues du dernier recensement (2019) à l'échelle de carreaux de 200 m de côté. Cette population est attribuée de façon homogène à chaque bâtiment présent dans la maille d'après la BD TOPO® IGN (2020). La population pour les trois scénarios est considérée comme identique.

Le tableau suivant présente les valeurs de l'indice pollution/population moyen, qui correspond à la somme des IPP sur l'ensemble du domaine d'étude :

	Actuel	Futur sans projet	Futur avec projet	Delta avec/sans projet
IPP NO_2	229 046	225 660	132 324	-41,4 %

Tableau 21 : IPP selon les scénarios considérés

A l'horizon 2030, le projet entraine une **diminution de l'IPP dans la bande d'étude d'environ 41 %**. La population étant considérée équivalente entre les trois scénarios, cette diminution est directement liée à celle des concentrations en NO_2 dans la bande d'étude.

Pour illustrer la variation de l'IPP global, la figure suivante illustre le nombre d'habitants exposés par classe de concentration de NO_2 selon les scénarios considérés. Les classes de concentrations présentées correspondent aux centiles de 0 % (concentration minimale sur la zone d'étude) à 100 % (concentration maximale sur la zone d'étude) tous les 20 %.

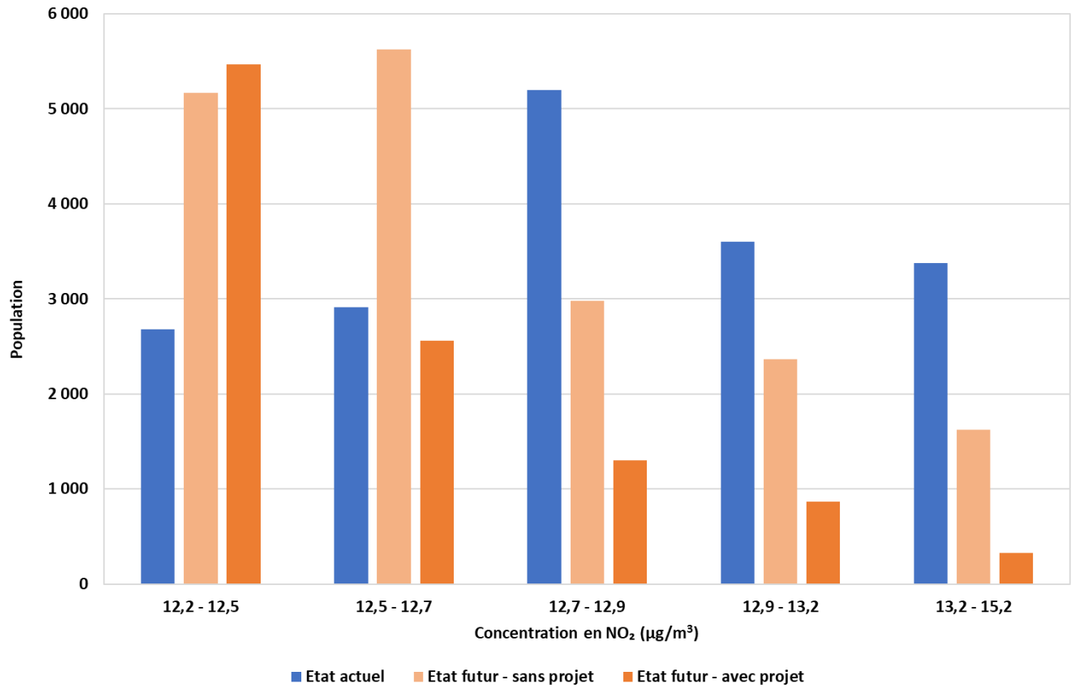


Figure 22 : histogrammes de distribution concentration/population pour le NO_2

Par rapport à la situation actuelle, les scénarios futurs sans projet et avec projet sont associés à une diminution du nombre de personnes exposées aux concentrations les plus fortes dans la zone d'étude (supérieures à 12,5 µg/m³) qui se répercute sur les classes de concentrations les plus faibles.

Globalement, à l'horizon 2030, le projet entraîne une diminution supplémentaire du nombre de personnes exposées aux concentrations les plus fortes par rapport au scénario futur sans projet. Par ailleurs toutes les populations sont exposées à des concentrations en NO_2 largement inférieures à la valeur réglementaire (40 µg/m³ en moyenne annuelle).

VI. EFFETS DU PROJET : EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

VI.1 Méthodologie

VI.1.1. Sites étudiés

Pour une étude de niveau II ou supérieur, le risque sanitaire de l'exposition par inhalation aux polluants atmosphériques est évalué au droit des sites vulnérables présents dans la bande d'étude. Les sites identifiés pour l'exposition par inhalation sont les suivants :

1) Lycée polyvalent Jean Zay
2) Ecole élémentaire André Dessaux
3) Ecole primaire privée Saint Vincent
4) Ecole élémentaire d'application Louis Guilloux
5) Collège prive Saint Charles
6) EHPAD Les Petites Sœurs des Pauvres
7) Ecole maternelle Flora Tristan
8) Ecole primaire privée Saint Laurent
9) Lycée professionnel Sainte-Croix Saint Euverte
10) Les Petits Chaperons Rouges Centre
11) Les Petits Chaperons Rouges Gare

La figure suivante indique la localisation de ces sites par rapport à la bande d'étude :

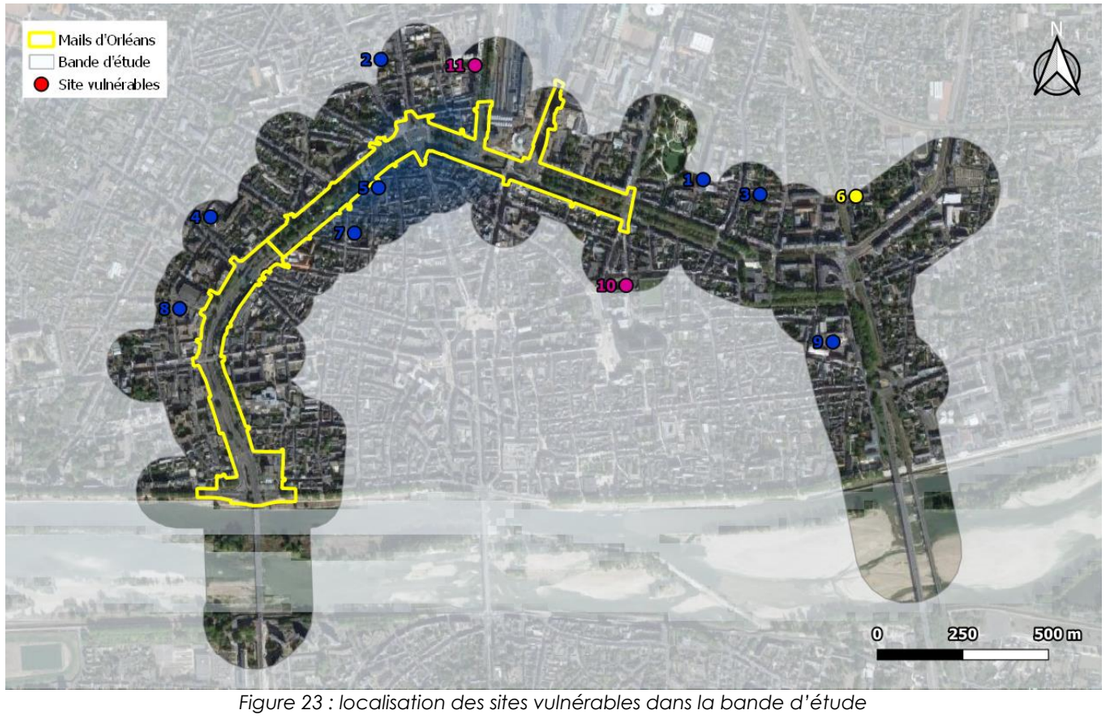


Figure 23 : localisation des sites vulnérables dans la bande d'étude

VI.1.2. Etapes de l'évaluation des risques sanitaires

Conformément aux préconisations de l'Institut National de Veille des risques Sanitaires (InVS) l'évaluation des risques sanitaires comprend quatre étapes :

- Identification des dangers par sélection des substances pouvant avoir un impact sur la santé ;
- Relation dose-réponse par recensement des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ;
- Estimation des expositions selon la voie, le temps et la concentration afin de calculer la concentration moyenne inhalée (CI) ;
- Caractérisation des risques par calcul d'indicateurs à comparer aux valeurs seuils afin de déterminer l'acceptabilité ou non du risque auquel la population est susceptible d'être soumise.

VI.1.3. Identification des dangers

La relation entre la dose d'exposition à la pollution et le risque sanitaire est établie à partir de valeurs toxicologiques de référence (VTR). Trois types de valeurs sont prises en compte :

- Pour les substances avec un **effet à seuil** (AS) : une VTR à la concentration en dessous de laquelle la survenue d'un effet n'est pas attendue (quotient de danger : QD).
- Pour les substances avec un **effet sans seuil** (SS) : une VTR désignant la probabilité supplémentaire de survenue d'un effet par rapport à un individu non exposé (excès de risque unitaire : ERI).
- Pour les substances ne disposant de pas de VTR : la **valeur guide** (réglementaire ou sanitaire) correspondant au risque chronique ou aigu (cf. note méthodologique du 22/02/2019).

Le tableau ci-dessous présente le type de valeurs disponibles pour les polluants émis par le trafic routier selon la note technique du Cerema du 22 février 2019 :

Type d'exposition	Inhalation			
Type de valeur	VTR effet à seuil	VTR effet sans seuil	Valeur guide	
Type d'effet	Chronique	Chronique	Chronique	Aigu
Dioxyde d'azote			✓	✓
PM_{10}		✓		
$PM_{2.5}$		✓		
Benzène	✓	✓		
1,3 butadiène	✓			
Chrome VI	✓	✓		
Nickel	✓	✓		
Arsenic	✓	✓		
Naphtalène	✓	✓		
Acénaphtène		✓		
Acénaphtylène		✓		
Anthracène		✓		
Fluorène		✓		
Fluoranthène		✓		
Phénanthrène		✓		
Pyrène		✓		
Benzo(a)pyrène	✓	✓		
Indéno(1,2,3-cd)pyrène		✓		
Benzo(a)anthracène		✓		
Benzo(b)fluoranthène		✓		
Benzo(k)fluoranthène		✓		
Benzo(ghi)pérylène		✓		
Chrysène		✓		
Dibenzo(a,h)anthracène		✓		

Tableau 22 : recensement des valeurs disponibles

Les valeurs disponibles sont recherchées parmi les plus récentes dans les bases de données toxicologiques de l'INERIS, de l'agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES) ainsi que des principaux organismes de référence internationaux. Les valeurs retenues sont présentées avant l'estimation des expositions et la caractérisation des risques pour chaque type de substances (sans seuil, à seuil et sans VTR).

VI.2 Caractérisation du risque par inhalation – substances à effet de seuil

VI.2.1. Principe

L'exposition par inhalation aux substances à effet de seuil est estimée à partir de la concentration moyenne inhalée selon la formule suivante : **CI = Ci x ti x F**

Avec :

- *C_i la concentration de polluant dans l'air inhalé correspondant à la concentration modélisée au droit de chaque site*
- *t_i la fraction du temps d'exposition pendant une journée dépendant du scénario d'exposition*
- *F la fréquence d'exposition à la concentration C_i en nombre de jours par an dépendant du scénario d'exposition*

En fonction du type de lieux, les paramètres d'exposition suivants sont considérés :

Type d'établissement	t_i	F
Crèche ou lycée	0,3333 (8h/jour)	0,6923 (16 semaines de vacances)
Maternelle		
Elémentaire		
Collège		
Etablissement personnes âgées	1 (24h/jour)	1
Etablissement de santé		0,0153 (séjour moyen de 5,6 j/an)[13]
Résidentiel	0,67 (16h/jour)[14]	1

Tableau 23 : paramètres d'exposition

Le quotient de danger (QD) peut ainsi être calculé d'après le ratio entre la concentration d'exposition et la valeur toxicologique de référence, soit : **QD = CI / VTR**

Les VTR pour les substances à effet de seuil pour l'exposition par inhalation sont présentées dans le tableau suivant :

Substance	Valeur (µg/m³)	Organe cible	Source (date)
1,3-butadiène	**2,00E+00**	Reproducteur	ANSES (2020)
Benzène	**1,00E+01**	Immunitaire	ANSES (2008)
Chrome VI	**3,00E-02**	Respiratoire	OMS (2013)
Nickel	**9,00E-02**	Respiratoire	ATSDR (2005)
Naphtalène	**3,70E-01**	Respiratoire	ANSES (2013)
Arsenic	**1,50E-02**	Cerveau	OEHHA (2008)
Benzo(a)pyrène	**2,00E-03**	Fœtus	US-EPA (2017)

Tableau 24 : VTR à effets de seuil pour l'exposition par inhalation

Le risque sanitaire par exposition aux substances à effet de seuil est établi à partir du dépassement de la valeur limite de 1 : **QD > 1**

VI.2.2. Résultats

Le tableau ci-dessous présente les QD regroupés par organes cibles au droit de chaque site vulnérable considéré :

Site vulnérable		1		2		3		4	
Organe cible	**Scénario**	**Sans projet**	**Avec projet**	**Sans projet**	**Avec projet**	**Sans projet**	**Avec projet**	**Sans projet**	**Avec projet**
Immunitaire	Benzène	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,15E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02
Reproducteur	1,3-butadiène	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02
Cerveau	Arsenic	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03
Fœtus	B(a)P	1,73E-02	1,72E-02	1,72E-02	1,71E-02	1,73E-02	1,73E-02	1,72E-02	1,71E-02
Respiratoire	Chrome VI	4,15E-04	4,12E-04	4,10E-04	4,09E-04	4,17E-04	4,14E-04	4,11E-04	4,10E-04
	Nickel	5,13E-04	5,13E-04	5,13E-04	5,13E-04	5,14E-04	5,13E-04	5,13E-04	5,13E-04
	Naphtalène	2,25E-05	1,71E-05	1,50E-05	1,25E-05	2,51E-05	2,11E-05	1,66E-05	1,42E-05
	Total	9,51E-04	9,42E-04	9,38E-04	9,34E-04	9,55E-04	9,49E-04	9,41E-04	9,37E-04
Delta projet		**-0,210%**		**-0,096%**		**-0,150%**		**-0,092%**	

Site vulnérable		5		6		7		8	
Organe cible	**Scénario**	**Sans projet**	**Avec projet**	**Sans projet**	**Avec projet**	**Sans projet**	**Avec projet**	**Sans projet**	**Avec projet**
Immunitaire	Benzène	1,16E-02	1,16E-02	5,01E-02	5,01E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02
Reproducteur	1,3-butadiène	2,32E-02	2,31E-02	1,00E-01	1,00E-01	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02
Cerveau	Arsenic	7,69E-03	7,69E-03	3,33E-02	3,33E-02	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03
Fœtus	B(a)P	1,77E-02	1,74E-02	7,49E-02	7,48E-02	1,74E-02	1,73E-02	1,73E-02	1,72E-02
Respiratoire	Chrome VI	4,26E-04	4,18E-04	1,80E-03	1,79E-03	4,19E-04	4,14E-04	4,15E-04	4,13E-04
	Nickel	5,14E-04	5,14E-04	2,22E-03	2,22E-03	5,14E-04	5,13E-04	5,13E-04	5,13E-04
	Naphtalène	4,10E-05	2,72E-05	9,59E-05	8,65E-05	2,88E-05	2,17E-05	2,32E-05	1,93E-05
	Total	9,81E-04	9,59E-04	4,12E-03	4,10E-03	9,61E-04	9,50E-04	9,52E-04	9,45E-04
Delta projet		**-0,536%**		**-0,081%**		**-0,277%**		**-0,148%**	

Site vulnérable		9		10		11	
Organe cible	**Scénario**	**Sans projet**	**Avec projet**	**Sans projet**	**Avec projet**	**Sans projet**	**Avec projet**
Immunitaire	Benzène	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02	1,16E-02
Reproducteur	1,3-butadiène	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02
Cerveau	Arsenic	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03	7,69E-03
Fœtus	B(a)P	1,75E-02	1,75E-02	1,72E-02	1,71E-02	1,73E-02	1,72E-02
Respiratoire	Chrome VI	4,22E-04	4,21E-04	4,12E-04	4,10E-04	4,14E-04	4,11E-04
	Nickel	5,14E-04	5,14E-04	5,13E-04	5,13E-04	5,13E-04	5,13E-04
	Naphtalène	3,41E-05	3,18E-05	1,86E-05	1,44E-05	2,10E-05	1,55E-05
	Total	9,70E-04	9,66E-04	9,44E-04	9,37E-04	9,48E-04	9,39E-04
Delta projet		**-0,080%**		**-0,166%**		**-0,211%**	

Tableau 25 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste

Le projet entraîne une légère diminution de la somme des QD quel que soit le site considéré, allant de -0,08 % au niveau de l'EHPAD Les Petites Sœurs des Pauvres à -0,54 % au droit du collège privé Saint-Charles. Aucun quotient de danger ne dépasse la valeur de 1, indiquant **l'absence de risque sanitaire lié aux substances à effets de seuil** sur tous les sites vulnérables exposés.

[13] OCDE (2019). Panorama de la santé 2019 : Les indicateurs de l'OCDE, Éditions OCDE, Paris.

[14] Institut de Veille Sanitaire - Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement.

VI.3 Caractérisation du risque par inhalation – substances sans effet de seuil

VI.3.1. Principe

L'exposition par inhalation aux substances sans effet de seuil est estimée à partir de la concentration moyenne inhalée (CI) selon la formule suivante : **CI = Ci x ti x F x T / Tm**

Avec :

- *C_i la concentration de polluant dans l'air inhalé correspondant à la concentration modélisée au droit de chaque site vulnérable*
- *t_i la fraction du temps d'exposition pendant une journée dépendant du scénario d'exposition*
- *F la fréquence d'exposition à la concentration C_i en nombre de jours par an dépendant du scénario d'exposition*
- *T la durée d'exposition à la concentration C_i (année) dépendant du type d'effet*
- *T_m la durée sur laquelle l'exposition est moyennée (années) dépendant du type d'effet, prise par convention égale à 70 ans*

En fonction du type de lieux, les paramètres d'exposition suivants sont considérés :

Type d'établissement	t_i	F	T	T_m
Crèche ou lycée	0,3333 (8h/jour)	0,6923 (16 semaines de vacances)	3	70
Maternelle				
Elémentaire			5	
Collège			4	
Etablissement personnes âgées	1 (24h/jour)	1	3[15]	
Etablissement de santé		0,0153 (séjour moyen de 5,6 par an)[16]	70	
Résidentiel	0,67 (16h/jour)[17]	1	16,7[18]	

Tableau 26 : paramètres d'exposition

L'excès de risque individuel (ERI), correspondant à la probabilité de survenue d'une pathologie pour les individus exposés, peut ainsi être calculé d'après le produit de la concentration d'exposition et de la valeur toxicologique, soit : **ERI = CI x VTR**

Les valeurs retenues pour les substances sans effet de seuil sont présentées dans le tableau suivant :

Substance	Valeur (µg/m³)$^{-1}$	Source
Particules PM_{10}	**2,10E-02**[19]	ANSES (2023)
Particules $PM_{2.5}$	**1,28E-02**	ANSES (2023)
Benzène	**2,60E-05**	ANSES (2014)
1,3 butadiène	**3,00E-05**	US EPA (2002)
Chrome VI	**4,00E-02**	IPCS (2013)
Nickel	**1,70E-04**	TCEQ (2011)
Arsenic	**1,50E-04**	TCEQ (2012)
Naphtalène	**5,60E-06**	INERIS (2018)
Acénaphtène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
Acénaphtylène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
Anthracène	**6,00E-06**	INERIS (2018)
Fluorène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
Fluoranthène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
Phénanthrène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
Pyrène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
Benzo(a)pyrène	**6,00E-04**	INERIS (2018)
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	**1,20E-03**	INERIS (2018)
Benzo(a)anthracène	**6,00E-05**	INERIS (2018)
Benzo(b)fluoranthène	**6,00E-05**	INERIS (2018)
Benzo(k)fluoranthène	**6,00E-05**	INERIS (2018)
Benzo(ghi)pérylène	**6,00E-06**	INERIS (2018)
Chrysène	**6,00E-06**	INERIS (2018)
Dibenzo(a,h)anthracène	**6,00E-04**	INERIS (2018)

Tableau 27 : VTR sans effet de seuil pour l'exposition par inhalation

Le risque sanitaire par exposition aux substances sans effet de seuil est établi à partir du dépassement de la valeur limite de 1.10^{-5} : **ERI > 1.10^{-5}.**

VI.3.2. Résultats

Les tableaux ci-dessous présentent les ERI pour chaque polluant ainsi que leur somme au droit des sites vulnérables :

Site vulnérable	1		2		3		4	
Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
PM_{10}	3,14E-03	3,13E-03	5,21E-03	5,21E-03	5,23E-03	5,23E-03	5,22E-03	5,21E-03
$PM_{2.5}$	1,33E-03	1,32E-03	2,20E-03	2,20E-03	2,21E-03	2,21E-03	2,20E-03	2,20E-03
Benzène	1,29E-07	1,29E-07	2,15E-07	2,14E-07	2,15E-07	2,15E-07	2,15E-07	2,15E-07
1,3 butadiène	5,94E-08	5,94E-08	9,90E-08	9,90E-08	9,91E-08	9,91E-08	9,90E-08	9,90E-08
Chrome VI	2,13E-08	2,12E-08	3,51E-08	3,50E-08	3,57E-08	3,55E-08	3,52E-08	3,51E-08
Nickel	3,37E-10	3,37E-10	5,61E-10	5,61E-10	5,61E-10	5,61E-10	5,61E-10	5,61E-10
Arsenic	7,42E-10	7,42E-10	1,24E-09	1,24E-09	1,24E-09	1,24E-09	1,24E-09	1,24E-09
Naphtalène	1,99E-10	1,52E-10	2,22E-10	1,86E-10	3,72E-10	3,13E-10	2,46E-10	2,10E-10
Acénaphtène	2,07E-12	2,00E-12	3,29E-12	3,23E-12	3,50E-12	3,41E-12	3,32E-12	3,27E-12
Acénaphtylène	1,99E-12	1,94E-12	3,20E-12	3,17E-12	3,36E-12	3,30E-12	3,23E-12	3,19E-12
Anthracène	1,85E-11	1,84E-11	3,05E-11	3,04E-11	3,10E-11	3,08E-11	3,06E-11	3,04E-11
Fluorène	8,92E-12	8,91E-12	1,49E-11	1,49E-11	1,49E-11	1,49E-11	1,49E-11	1,49E-11
Fluoranthène	1,07E-11	1,07E-11	1,79E-11	1,79E-11	1,79E-11	1,79E-11	1,79E-11	1,79E-11
Phénanthrène	3,03E-11	3,03E-11	5,06E-11	5,06E-11	5,06E-11	5,06E-11	5,06E-11	5,06E-11
Pyrène	7,74E-12	7,74E-12	1,29E-11	1,29E-11	1,29E-11	1,29E-11	1,29E-11	1,29E-11
Benzo(a)pyrène	8,90E-10	8,84E-10	1,47E-09	1,47E-09	1,49E-09	1,48E-09	1,47E-09	1,47E-09
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	5,58E-09	5,57E-09	9,27E-09	9,27E-09	9,31E-09	9,30E-09	9,28E-09	9,27E-09
Benzo(a)anthracène	2,66E-10	2,65E-10	4,41E-10	4,41E-10	4,44E-10	4,43E-10	4,42E-10	4,41E-10
Benzo(b)fluoranthène	3,51E-10	3,50E-10	5,84E-10	5,83E-10	5,86E-10	5,85E-10	5,84E-10	5,84E-10
Benzo(k)fluoranthène	2,02E-10	2,02E-10	3,36E-10	3,35E-10	3,37E-10	3,36E-10	3,36E-10	3,35E-10
Benzo(ghi)pérylène	4,46E-11	4,44E-11	7,40E-11	7,39E-11	7,44E-11	7,42E-11	7,40E-11	7,40E-11
Chrysène	4,71E-11	4,69E-11	7,81E-11	7,80E-11	7,86E-11	7,84E-11	7,82E-11	7,81E-11
Dibenzo(a,h)anthracène	3,96E-10	3,95E-10	6,58E-10	6,57E-10	6,61E-10	6,60E-10	6,59E-10	6,58E-10
Total	**4,46E-03**	**4,45E-03**	**7,42E-03**	**7,41E-03**	**7,45E-03**	**7,44E-03**	**7,42E-03**	**7,41E-03**
Delta projet	**-0,21%**		**-0,09%**		**-0,15%**		**-0,09%**	

Site vulnérable	5		6		7		8	
Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
PM_{10}	4,21E-03	4,19E-03	1,36E-02	1,36E-02	3,14E-03	3,14E-03	5,23E-03	5,22E-03
$PM_{2.5}$	1,78E-03	1,77E-03	5,74E-03	5,74E-03	1,33E-03	1,33E-03	2,21E-03	2,21E-03
Benzène	1,72E-07	1,72E-07	5,58E-07	5,58E-07	1,29E-07	1,29E-07	2,15E-07	2,15E-07
1,3 butadiène	7,94E-08	7,93E-08	2,58E-07	2,58E-07	5,95E-08	5,94E-08	9,91E-08	9,90E-08
Chrome VI	2,92E-08	2,87E-08	9,24E-08	9,21E-08	2,15E-08	2,13E-08	3,56E-08	3,54E-08
Nickel	4,49E-10	4,49E-10	1,46E-09	1,46E-09	3,37E-10	3,37E-10	5,61E-10	5,61E-10
Arsenic	9,89E-10	9,89E-10	3,21E-09	3,21E-09	7,42E-10	7,42E-10	1,24E-09	1,24E-09
Naphtalène	4,85E-10	3,22E-10	8,52E-10	7,68E-10	2,56E-10	1,93E-10	3,43E-10	2,86E-10
Acénaphtène	3,07E-12	2,83E-12	8,93E-12	8,81E-12	2,15E-12	2,06E-12	3,46E-12	3,38E-12
Acénaphtylène	2,89E-12	2,72E-12	8,63E-12	8,54E-12	2,05E-12	1,99E-12	3,33E-12	3,27E-12
Anthracène	2,55E-11	2,49E-11	8,03E-11	8,00E-11	1,87E-11	1,85E-11	3,09E-11	3,07E-11
Fluorène	1,19E-11	1,19E-11	3,86E-11	3,86E-11	8,92E-12	8,92E-12	1,49E-11	1,49E-11
Fluoranthène	1,43E-11	1,43E-11	4,64E-11	4,64E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,79E-11	1,79E-11
Phénanthrène	4,05E-11	4,05E-11	1,31E-10	1,31E-10	3,03E-11	3,03E-11	5,06E-11	5,06E-11
Pyrène	1,03E-11	1,03E-11	3,35E-11	3,35E-11	7,74E-12	7,74E-12	1,29E-11	1,29E-11
Benzo(a)pyrène	1,21E-09	1,19E-09	3,85E-09	3,84E-09	8,96E-10	8,89E-10	1,48E-09	1,48E-09
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	7,50E-09	7,46E-09	2,42E-08	2,42E-08	5,60E-09	5,58E-09	9,30E-09	9,29E-09
Benzo(a)anthracène	3,59E-10	3,56E-10	1,15E-09	1,15E-09	2,67E-10	2,66E-10	4,43E-10	4,42E-10
Benzo(b)fluoranthène	4,71E-10	4,69E-10	1,52E-09	1,52E-09	3,52E-10	3,51E-10	5,85E-10	5,85E-10
Benzo(k)fluoranthène	2,72E-10	2,70E-10	8,75E-10	8,74E-10	2,03E-10	2,02E-10	3,37E-10	3,36E-10
Benzo(ghi)pérylène	6,00E-11	5,96E-11	1,93E-10	1,93E-10	4,47E-11	4,45E-11	7,43E-11	7,42E-11
Chrysène	6,34E-11	6,29E-11	2,04E-10	2,04E-10	4,72E-11	4,71E-11	7,85E-11	7,83E-11
Dibenzo(a,h)anthracène	5,33E-10	5,29E-10	1,72E-09	1,72E-09	3,97E-10	3,96E-10	6,61E-10	6,59E-10
Total	**6,00E-03**	**5,96E-03**	**1,93E-02**	**1,93E-02**	**4,47E-03**	**4,46E-03**	**7,44E-03**	**7,43E-03**
Delta projet	**-0,53%**		**-0,08%**		**-0,27%**		**-0,14%**	

[15] DREES (2018). Etudes et résultats – L'EHPAD, dernier lieu de vie pour un quart des personnes décédées en France en 2015.
[16] OCDE (2019). Panorama de la santé 2019 : Les indicateurs de l'OCDE, Éditions OCDE, Paris.
[17] InVS (2010). Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement.
[18] INSEE (2017). Les conditions de logement en France.

[19] Conformément à l'avis de l'ANSES du 12/01/2023 relatif à la recommandation de VTR par voie respiratoire pour l'exposition à long terme aux particules de l'air ambiant extérieur ($PM_{2.5}$), la VTR applicable aux PM_{10} est prise d'après le ratio $PM_{10}/PM_{2.5}$ déterminé sur les concentrations de fond au niveau de la zone d'étude.

Site vulnérable	9		10		11	
Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
PM_{10}	3,15E-03	3,15E-03	3,13E-03	3,13E-03	3,14E-03	3,13E-03
$PM_{2,5}$	1,33E-03	1,33E-03	1,32E-03	1,32E-03	1,33E-03	1,32E-03
Benzène	1,29E-07	1,29E-07	1,29E-07	1,29E-07	1,29E-07	1,29E-07
1,3 butadiène	5,95E-08	5,95E-08	5,94E-08	5,94E-08	5,94E-08	5,94E-08
Chrome VI	2,17E-08	2,16E-08	2,12E-08	2,11E-08	2,13E-08	2,11E-08
Nickel	3,37E-10	3,37E-10	3,37E-10	3,36E-10	3,37E-10	3,37E-10
Arsenic	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10
Naphtalène	3,02E-10	2,82E-10	1,66E-10	1,28E-10	1,86E-10	1,38E-10
Acénaphtène	2,21E-12	2,18E-12	2,02E-12	1,96E-12	2,05E-12	1,98E-12
Acénaphtylène	2,10E-12	2,08E-12	1,96E-12	1,92E-12	1,98E-12	1,93E-12
Anthracène	1,89E-11	1,88E-11	1,84E-11	1,83E-11	1,85E-11	1,83E-11
Fluorène	8,93E-12	8,92E-12	8,91E-12	8,91E-12	8,92E-12	8,91E-12
Fluoranthène	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11
Phénanthrène	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11
Pyrène	7,74E-12	7,74E-12	7,74E-12	7,74E-12	7,74E-12	7,74E-12
Benzo(a)pyrène	9,01E-10	8,99E-10	8,86E-10	8,82E-10	8,88E-10	8,83E-10
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	5,61E-09	5,60E-09	5,57E-09	5,56E-09	5,58E-09	5,57E-09
Benzo(a)anthracène	2,68E-10	2,68E-10	2,65E-10	2,65E-10	2,66E-10	2,65E-10
Benzo(b)fluoranthène	3,53E-10	3,52E-10	3,51E-10	3,50E-10	3,51E-10	3,50E-10
Benzo(k)fluoranthène	2,03E-10	2,03E-10	2,02E-10	2,01E-10	2,02E-10	2,01E-10
Benzo(ghi)pérylène	4,48E-11	4,48E-11	4,45E-11	4,44E-11	4,45E-11	4,44E-11
Chrysène	4,74E-11	4,73E-11	4,70E-11	4,69E-11	4,70E-11	4,69E-11
Dibenzo(a,h)anthracène	3,98E-10	3,98E-10	3,96E-10	3,95E-10	3,96E-10	3,95E-10
Total	**4,48E-03**	**4,48E-03**	**4,46E-03**	**4,45E-03**	**4,46E-03**	**4,45E-03**
Delta projet	**-0,07%**		**-0,16%**		**-0,21%**	

Tableau 28 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste

Le projet entraîne une diminution des ERI allant de -0,07 à -0,56 % selon les sites considérés. Néanmoins, tous les ERI dépassent la valeur seuil de 1.10^{-5}, indiquant **un risque sanitaire potentiel pour les substances à effet sans seuil** sur tous les sites avec ou sans projet. Ce dépassement s'explique par la VTR associée aux particules PM_{10} et $PM_{2.5}$ qui impliquerait une concentration en $PM_{2.5}$ dans l'air ambiant de 0,3 µg/m³ pour respecter un ERI de 1.10^{-5}, alors qu'actuellement les concentrations moyennes sur le territoire français sont de 9,7 µg/m³ (et la minimale de 3,4 µg/m³ sur l'Ile de la Réunion).

VI.4 Caractérisation du risque par inhalation – substances sans VTR

VI.4.1. Principe

Le dioxyde d'azote (NO_2) ne présente pas de VTR. Conformément à la note technique du 22/02/2019, les effets sanitaires de ce polluant sont évalués par comparaison directe des concentrations modélisées aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Les valeurs disponibles sont présentées dans le tableau suivant :

Période d'exposition	Valeur limite (µg/m³)
1 an	10
1 jour	25
1 heure	200

Tableau 29 : valeurs guides pour le NO_2 (expositions chronique et aigue)

Les concentrations en moyenne annuelle sont issues des résultats modélisés en considérant une exposition continue sur chaque site. Les concentrations en moyenne journalière et en moyenne horaire sont prises d'après la valeur maximale modélisée sur chacun de ces pas de temps.

VI.4.2. Résultats

NO_2 (µg/m³)	1		2		3		4		5		Valeur OMS 2021 (µg/m³)	Valeur réglementaire (µg/m³)
Durée	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet		
1 an	12,6	12,4	12,4	12,3	12,7	12,6	12,4	12,3	13,3	12,8	10	40
1 h	23,1	21,8	23,1	19,5	23,6	22,6	25,6	23,3	24,7	20,3	200	200
24 h	15,1	14,3	14,3	13,6	15,2	14,4	15,2	14,7	17,8	15,4	25	-

NO_2 (µg/m³)	6		7		8		9		10		Valeur OMS 2021 (µg/m³)	Valeur réglementaire (µg/m³)
Durée	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet		
1 an	12,6	12,5	12,8	12,6	12,6	12,5	13,0	12,9	12,5	12,3	10	40
1 h	23,9	23,4	19,4	18,0	27,6	26,1	25,3	24,6	18,2	17,3	200	200
24 h	15,1	14,9	15,7	14,4	17,0	15,8	17,7	17,5	14,6	14,0	25	-

NO_2 (µg/m³)	11		Valeur OMS 2021 (µg/m³)	Valeur réglementaire (µg/m³)
Durée	Sans projet	Avec projet		
1 an	12,6	12,4	10	40
1 h	22,7	19,6	200	200
24 h	14,8	13,9	25	-

Tableau 30 : comparaison des concentrations aux valeurs guides et réglementaires

La mise en place du projet entraîne de faibles diminutions des concentrations en NO_2 au droit de chaque site vulnérable. Cependant un **dépassement de la recommandation OMS en moyenne annuelle** (10 µg/m³) est observé sur tous les sites quel que soit le scénario. Ces dépassements sont liés au bruit de fond considéré dans la zone d'étude (12,0 µg/m³) qui dépasse à lui seul la valeur guide. En effet, un dépassement systématique de la valeur OMS peut être attendu sur tous les projets en zone urbanisée (d'après les données Atmo France, la moyenne des concentrations en NO_2 en typologie de fond urbain en France métropolitaine en 2023 est de 12,4 µg/m³). En revanche, **aucun dépassement de la valeur réglementaire ni des valeurs OMS en moyenne journalière et horaire** n'est observé.

VI.5 Caractérisation du risque par inhalation – substances sans VTR

VI.5.1. Identification des dangers

Bien que les polluants considérés dans l'ERS soient basés sur la note méthodologique du 22 février 2019, une incertitude réside sur le choix d'un nombre fini de substances, qui peut sous-estimer le risque pour celles non prises en compte. L'absence de données concernant l'effet de mélange ou les produits de dégradation et de métabolisation des polluants augmente cette incertitude sans pour autant pouvoir conclure sur une surestimation (ex : polluant dégradé vers une substance moins toxique) ou sur une sous-estimation des effets (ex : exposition à un mélange de substances plus délétère qu'à une substance seule).

VI.5.2. Relation dose-réponse

Cette étape apporte plusieurs incertitudes liées à l'élaboration des VTR. En effet une extrapolation est réalisée entre les hautes doses utilisées en laboratoire pour visualiser les effets des substances sur la santé, et les faibles doses représentatives d'une exposition environnementale. La transposition des résultats issus d'expérimentations animales à l'homme présente également une incertitude. Dans les deux cas le caractère de surestimation ou de sous-estimation de la méthode n'est pas déterminé.

VI.5.3. Estimation de l'exposition

Les voies d'exposition par contact cutané et par ingestion n'étant pas prises en compte, une sous-estimation de l'exposition des populations peut intervenir. Le choix des scénarios apporte également une incertitude, les hypothèses d'exposition tendant généralement à rester majorantes. De plus, les concentrations sont prises au niveau du sol ce qui constitue également une hypothèse majorante par rapport à l'exposition en hauteur en façade des bâtiments.

Une autre incertitude est liée aux concentrations modélisées (incertitude du modèle) et aux concentrations de fond sélectionnées (incertitude de la mesure ou des sources bibliographiques).

Enfin, l'hypothèse est faite que les concentrations sont constantes sur toute la période d'exposition de la population, alors que celle-ci peut avoir été, ou pourra être exposée dans le futur, à des concentrations potentiellement plus élevées (sous-estimation) ou plus faibles (surestimation).

VI.5.4. Caractérisation du risque

Cette étape est basée sur l'ensemble des données précédemment utilisées, elle cumule donc l'ensemble des incertitudes listées ci-dessus auxquelles s'ajoute celle sur les calculs du quotient de danger et de l'excès de risque individuel.

VII. MESURES D'EVITEMENT DE REDUCTION OU DE COMPENSATION

VII.1 En phase programmation/conception de projet

La pollution atmosphérique émise par le trafic routier est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables. Plusieurs types d'actions ont été envisagées pour limiter la pollution à proximité d'une voie donnée : haies végétales, murs anti-bruit, revêtements photocatalytiques… Cependant le retour d'expérience sur leur mise en œuvre[20] n'indique pas d'effets certains ou systématiques sur la qualité de l'air au niveau des populations exposées, c'est pourquoi ce type d'aménagement seul ne peut être recommandé comme moyen efficace de lutte contre la pollution atmosphérique. Afin de réduire globalement l'exposition des populations, différentes mesures de précaution et de prévention peuvent toutefois être préconisées :

Agir sur les émissions à la source :

- Dans le secteur des transports : les émissions polluantes peuvent être réduites par une modification des conditions de circulation (limiter les vitesses dans la zone du projet, favoriser les modes de circulation apaisée, modes actifs…). Des circuits de mobilité douce ou des aménagements valorisant les transports publics (implantation de stations de transports en commun, parking covoiturage, voies dédiées aux bus) pourront ainsi être intégrés dans la conception du projet afin que celui-ci s'inscrive pleinement en cohérence avec les différents plans de prévention de la pollution atmosphérique, notamment avec les cibles du PDU.

- Dans le secteur résidentiel : les émissions polluantes liées aux équipements de chauffage peuvent être réduites indirectement par une isolation thermique efficace des bâtiments. Des propositions de remplacement ou de rénovation des systèmes de chauffage anciens peu performants ou des unités de production peuvent également être intégrés dans le cas d'un projet de rénovation urbaine.

Réduire l'exposition des populations et éviter les situations à risques :

- Prévoir un éloignement des bâtiments accueillant des populations vulnérables par rapport aux axes routiers où le trafic est le plus important (mise en place d'une zone « tampon »). Cette zone tampon peut être constituée par des espaces végétalisés (obstacles horizontaux) favorisant la dispersion, ou des bâtiments moins sensibles (obstacles verticaux). La création d'un parc ou d'une zone de circulation douce est possible mais l'activité prolongée sur ces espaces ne doit pas être encouragée. Par ailleurs l'ADEME préconise l'implantation de variétés et de structures de végétation diversifiées afin de contribuer à la biodiversité locale et de limiter la sensibilité aux maladies et aux parasites[21]. Le choix d'essences d'arbres résistantes à la pollution et peu émettrices de COV est à privilégier. Il est ainsi conseiller d'éviter les espèces suivantes : chêne, robinier, platane, peuplier, saule, sapin Douglas, pin sylvestre, pin parasol.

- Intégrer une signalétique sur la zone du projet afin d'orienter les parcours actifs et sportifs vers les espaces les moins exposés à la pollution (ex : éviter les talus boisés à proximité d'un axe à fort trafic pour les parcours sportifs).

- Limiter l'impact de la pollution atmosphérique sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments : les prises d'air neuf doivent être positionnées sur les emplacements les plus éloignés des sources de pollution (en toiture ou sur les façades les moins exposées aux voies de circulation). Pour les ventilations double flux, le dimensionnement d'une filtration adaptée au niveau des centrales de traitement de l'air permet également de réduire l'introduction de polluants extérieurs. Lorsque ces conceptions ne sont pas réalisables pour un bâtiment à usage résidentiel, il est recommandé de limiter les ouvrants des pièces de vie principales (salon, chambre) au niveau des façades les plus exposées aux voies de circulation en les positionnant côté cœur d'ilot.

- Concevoir des formes architecturales spécifiques favorisant la limitation ou la dispersion des polluants atmosphériques :

Pour créer une occlusivité par rapport aux sites vulnérables, privilégier la hauteur et la continuité du premier front bâti le long des axes routiers à fort trafic.

Pour préserver la qualité de l'air en cœur d'ilot, favoriser le retournement des fronts bâtis continus le long des voiries secondaires.

Pour favoriser la circulation de l'air et la dispersion des polluants, créer une discontinuité dans les fronts bâtis et varier la hauteur des bâtiments côté cœur d'ilot.

Pour éviter l'accumulation de polluants, limiter la création de rues canyon (rues étroites bordées en continu par de grands bâtiments) en recherchant a minima un rapport « largeur de rue » / « hauteur de bâtiments » supérieur à 1,5.

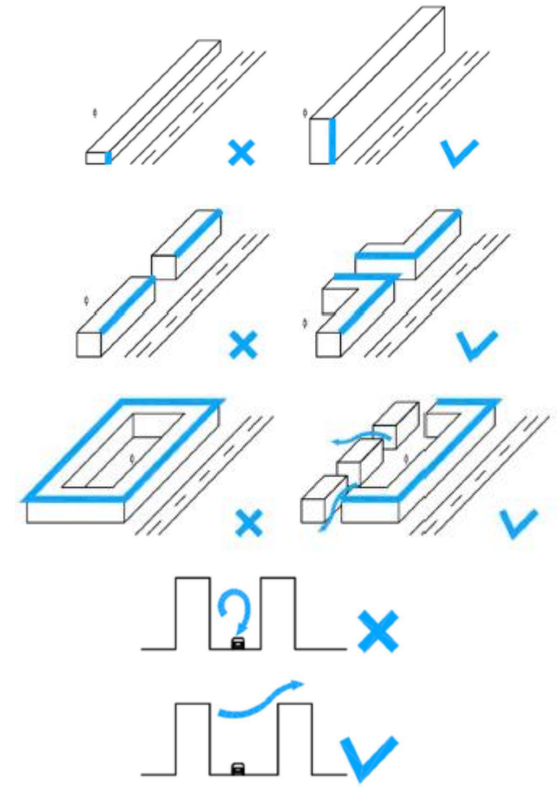


Figure 24 : recommandations générales d'aménagements favorisant la dispersion de polluants

Pour valider l'impact de ces mesures, la réalisation d'une modélisation 3D peut être envisagée afin de déterminer plus finement l'impact du bâti sur la dispersion locale des polluants. En effet, en fonction des différents paramètres de dispersion, les mesures prises pour tenter de réduire l'exposition des populations à la pollution atmosphérique peuvent parfois avoir l'effet inverse. Certaines mesures de réduction cumulées peuvent également amener à des effets antagonistes.

[20] ADEME. B. Forestier, F. Cape. 2016. Impacts des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique – Etat de l'art des études traitant de l'impact des aménagements routiers (solutions anti-bruit, solutions spécifiques) sur la pollution atmosphérique.

[21] ROUSSEAUX Olivia, AIA Life Designers, PRADELLE Frédéric, Ramboll France, Vincent JACOB, AIA Life Designers, DEQUIEDT Frédérique, Plaine Commune, ECK Mélanie, Plaine Commune. 2022. Modéliser la qualité de l'air dans un secteur d'urbanisation contraint, Recommandations d'aménagement pour minimiser les impacts de la pollution de l'air sur la population de Plaine Commune. Rapport. 84 pages.

VII.2 En phase chantier

La phase chantier d'un projet d'aménagement comprend de nombreuses sources de pollutions atmosphériques, notamment :

- L'échappement des machines et engins de chantier qui entrainent principalement des émissions de NO_2, CO, hydrocarbures et particules fines.
- Les émissions de poussières plus grossières générées par les travaux de terrassement, d'excavation ou de démolition, du transport et de l'entreposage de matériaux, la circulation et l'utilisation de véhicules, machines et engins (remise en suspension) sur les pistes, les opérations de soudage ou découpage de matériaux…
- Les émissions liées à l'emploi de solvants ou de produits à base de solvants qui engendre des émissions significatives de COV.
- L'application et l'emploi de bitume pour la très grande majorité des revêtements de sols (voies de circulation, trottoirs, parking…) qui entrainent notamment des émissions de particules fines, de COV et de HAP.

L'identification de l'ensemble des sources les plus polluantes du chantier permet ensuite de mettre en œuvre des mesures de réduction des impacts pour chaque source de pollution, comme les exemples suivants :

- Utiliser des véhicules récents équipés de filtres à particules (FAP). Les FAP permettent d'éliminer au moins 95 % en masse et 99,7 % en nombre des particules de plus de 23 nm (100 fois plus petites que le seuil des $PM_{2.5}$) émises par les moteurs diesel.
- Entretenir régulièrement les poids lourds, machines et engins qui circulent ou sont utilisés sur le chantier.
- Utiliser des véhicules fonctionnant avec des carburants moins émissifs de particules (GNV, GPL…).
- Former les opérateurs à l'adoption des bons comportements pour réduire les émissions de leurs engins (limitation des ralentis notamment).
- Arroser les pistes par temps sec ou lors d'épisodes de pollution afin de limiter l'envol des poussières.
- Bâcher et humidifier (rampe d'aspersion) systématiquement les camions.
- Mettre en place de dispositifs d'humidification anti-poussières lors des phases génératrices de poussières.
- Utiliser des produits plus écologiques contenant moins de solvants voire aucun.
- Former les opérateurs à l'adoption des bons comportements pour réduire les émissions diffuses ou ponctuelles lors de leurs tâches quotidiennes (refermer systématiquement les contenants après usage ou entre deux usages, utilisation des contenus sans excédants, rappeler l'interdiction de brûler des matériaux sur chantier…).
- Privilégier l'emploi d'émulsions bitumineuses aux solutions bitumineuses.
- Privilégier les enrobés tièdes et respecter scrupuleusement les consignes de température lors de la fabrication des enrobés.
- Equiper les finisseurs de systèmes de captages des fumées de bitume (avec une efficacité d'au moins 80 % selon le protocole NIOSH 107-97).
- Informer en amont et pendant le chantier les riverains des nuisances potentielles et des mesures mises en place pour les réduire.
- Adaptation de la période des travaux sur l'année ou sur la période journalière (en fonction des pics de concentrations de certains polluants et/ou des sites recevant des populations vulnérables à proximité).

Pour réduire l'impact des travaux d'aménagement, la consultation relative au choix du maitre d'œuvre peut ainsi inclure les dispositions contractuelles visant à garantir le respect de l'environnement lors des différentes phases du chantier. Le cadre d'évaluation des mémoires techniques doit également s'attacher à l'analyse des actions prises par le prestataire pour réduire ses émissions polluantes. La maitrise d'ouvrage peut se faire aider dans cette démarche par une AMO qui possède la compétence environnementale.

VIII. SYNTHESE

VIII.1 Etat initial

Le recensement des données existantes dans le cadre de l'étude air et santé a mis en évidence les points suivants :

- Les principales sources d'émissions locales liées au trafic routier sont constituées d'une part par les axes de la zone opérationnelle directement concernés par la requalification (boulevards Jean Jaurès, de Verdun, Rocheplatte et Alexandre Martin partie ouest) et d'autre part par les axes majeurs qui les relient (quais Saint-Laurent, pont du Maréchal Joffre, rue du Faubourg Saint-Jean, avenue de Paris, boulevard Alexandre Martin partie est). L'urbanisation dense est également une source significative d'émissions polluantes à l'échelle locale, notamment de particules. En revanche le recensement des sites industriels n'indique pas de sources majeures d'émissions polluantes à proximité du projet.

- Les données historiques de pollution atmosphérique dans l'environnement du projet n'indiquent pas de sensibilité particulière vis-à-vis de la qualité de l'air. Cependant une campagne de mesure in situ est réalisée afin d'étudier plus précisément la répartition des concentrations en NO_2 ans la zone d'étude.

- Le projet se situe dans une zone où la densité de population est très importante. Plus spécifiquement, 50 sites vulnérables vis-à-vis de la qualité de l'air (crèches, établissements scolaires, EHPAD) sont recensés dans la zone d'étude. Certains d'entre eux sont susceptibles d'être impactés par les modifications du trafic routier liées au projet.

- Le projet s'inscrit dans une zone couverte par différents plans de lutte et de prévention de la pollution atmosphérique contenant des actions spécifiques de protection et d'amélioration de la qualité de l'air (PREPA, PNSE4 à l'échelle nationale, SCRAE, PRSE3, PRSQA à l'échelle régionale, PPA et PCAET à l'échelle locale).

En complément de l'étude documentaire, une campagne de mesure *in situ* a été réalisée dans le cadre de l'état initial afin de caractériser les concentrations en dioxyde d'azote (NO_2), principal traceur des émissions du trafic routier, à l'échelle locale. Cette campagne de mesure, effectuée du 8 au 22 janvier 2024, se caractérise par des conditions météorologiques hivernales entraînant des concentrations en NO_2 plus fortes que la moyenne de l'année précédente (entre +27 % en proximité de trafic et +60 % en fond urbain). En ramenant ces conditions à une situation moyenne annuelle, les résultats n'indiquent aucun dépassement potentiel de la valeur limite pour le NO_2 (40 µg/m³ en moyenne annuelle), aussi bien en bordure des voies que sur les points représentatifs de l'exposition chronique de la population à la pollution atmosphérique.

VIII.2 Effets du projet

L'estimation des effets du projet par calcul des émissions polluantes indique les résultats suivants :

- Une baisse globale des émissions peut être constatée entre le scénario actuel et le scénario futur sans projet (environ -14 % en moyenne). Cette baisse est liée à l'évolution du parc routier (mise en circulation de véhicules moins polluants) projetée à l'état futur.

- A horizon 2028, la variation du trafic routier entre le scénario futur sans projet et le scénario futur avec projet entraine une diminution de l'ensemble des émissions comprises entre -15,0 et -17,2 % (baisse de -16,2 % pour les NO_X et le CO_2). Celle-ci est principalement due à la diminution du nombre de véhicules/km parcourus entre les deux scénarios (-15 % au global).

- A horizon 2028, le scénario avec projet entraîne une diminution des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique et à l'effet de serre de respectivement -43 % et -16 % par rapport au scénario futur sans projet.

La modélisation des concentrations de NO_2 en air ambiant met en évidence les points suivants :

- A l'horizon 2028, les concentrations de NO_2 diminuent de 1,1 % en moyenne dans la bande d'étude entre les scénarios futurs avec et sans projet (de -0,3 à -1,3 %). Au niveau des sites vulnérables, celles-ci diminuent de 0,4 % pour le lycée Sainte-Croix Saint Euverte à 3,8 % pour le collège Saint-Charles.

- La mise en œuvre du projet entraîne une diminution de l'indice pollution-population (IPP) d'environ 41 %. A population égale, cette variation s'explique par la diminution globale des concentrations en NO_2 dans la bande d'étude.

Parmi les 50 sites vulnérables recensés, 11 sont situés dans la bande d'étude. L'évaluation des risques sanitaires (ERS) réalisée à partir des concentrations modélisées au droit de ces sites permet d'établir les conclusions suivantes :

- Le projet entraîne une faible diminution de la somme des quotients de danger (QD) au niveau de l'ensemble des établissements, comprise entre -0,08 et -0,54 %. De plus aucun QD ne dépasse la valeur seuil de 1, indiquant l'absence de risque sanitaire lié aux substances à effets de seuil.

- Une faible diminution de l'excès de risque individuel (ERI) est également constatée entre les scénarios futurs avec et sans projet, comprises entre -0,07 et -0,56 %. En revanche, la valeur seuil d'acceptabilité du risque sanitaire de 1.10^{-5} est dépassée pour tous les sites et pour tous les scénarios. Ces dépassements sont cependant inévitables du fait des dernières VTR établies par l'ANSES (2023) pour les particules, qui nécessiteraient des concentrations inférieures à 1 µg/m³ pour conclure à l'absence de risque (le bruit de fond actuellement considéré dans la zone pour les PM_{10} et $PM_{2.5}$ est respectivement de 10,4 et 16,0 µg/m³).

- La mise en service du projet entraîne de faibles diminutions des concentrations en NO_2 au droit de chaque site vulnérable. En prenant en compte les dernières recommandations de l'OMS (2021), la valeur seuil de ce polluant en moyenne annuelle (10 µg/m³) est dépassée au niveau de tous les établissements et pour tous les scénarios. Comme pour les particules, ces dépassements restent inévitables du fait du bruit de fond actuel en zone urbanisée (12,4 µg/m³ en moyenne 2023 en fond urbain en France métropolitaine). En revanche aucun site ne présente de dépassement des valeurs OMS en moyenne journalière et horaire ni de la valeur réglementaire pour le NO_2.

ANNEXES

Annexe 1 : Rappel des effets de la pollution atmosphérique sur la santé

1) Définitions

La **pollution atmosphérique** est définie selon la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (loi 96-1236 du 30 décembre 1996, intégrée au Code de l'Environnement – LAURE) de la façon suivante :

"*Constitue une pollution atmosphérique [...] 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 en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influer sur les échanges climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives*".

Les effets de la pollution atmosphérique se décomposent selon trois échelles spatiales. Ces échelles dépendent de la capacité des polluants à se transporter dans l'atmosphère et donc de leur durée de vie :

- **L'échelle locale** (ville) concerne directement les polluants ayant un effet direct sur la santé des personnes et les matériaux. Cette pollution est couramment mesurée par les associations agrées de la surveillance de la qualité de l'air (AASQA).

- **L'échelle régionale** (environ 100 km) impactée par des phénomènes de transformations physico-chimiques complexes tels que les pluies acides ou la formation d'ozone troposphérique.

- **L'échelle globale** (environ 1000 km) dépend des polluants ayant un impact au niveau planétaire comme la réduction de la couche d'ozone ou le changement climatique (gaz à effet de serre).

Les **polluants atmosphériques** peuvent être définis selon plusieurs groupes ou familles en fonction de leur origine, de leur nature ou de leur action (ex : effets sanitaire ou réchauffement climatique). Différentes distinctions peuvent être établies pour classer ces polluants :

- Le caractère **primaire ou secondaire**. Les polluants primaires sont émis directement dans l'air ambiant tandis que les polluants secondaires qui sont produits lors de réactions chimiques à partir de polluants primaires (l'ozone troposphérique par exemple).

- L'état **gazeux**, **particulaire ou semi-volatil**. L'impact des composés gazeux sur la santé est défini directement par des relations dose-effets. Les composés particulaires sont étudiés d'une part en prenant en compte leur nature chimique (ex : métaux lourds) mais également en fonction de leur granulométrie (PM_{10}, $PM_{2.5}$) qui différencie les effets sur la santé. Les composés semi-volatils ont la propriété d'être à la fois sous forme gazeuse et particulaire (par exemples les hydrocarbures aromatiques polycycliques). Les méthodes de mesure diffèrent fortement en fonction de la phase du polluant à étudier.

- La **persistance** chimique. Les polluants dits organiques persistants (POP) tels que les pesticides, dioxines, polychlorobiphényles, possèdent une grande stabilité leur permettant de contaminer la chaine alimentaire par un transfert de l'air vers le sol, du sol vers les végétaux puis vers le bétail.

- Le **forçage radiatif**. Les gaz à effet de serre sont des composés qui contribuent au réchauffement climatique, comme le dioxyde de carbone (CO_2) ou le méthane (CH_4).

Parmi ces polluants, les principaux composés pris en compte pour l'impact sur l'air sont décrits dans le tableau suivant :

Polluant	Description
Oxydes d'azote (NO_X)	Ils regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). Ces polluants sont très majoritairement émis par le transport routier et de ce fait constituent un excellent traceur de ce type de pollution. Ils participent de façon importante à la pollution à l'ozone en période estivale.
Monoxyde de carbone (CO)	Il est émis lors des phénomènes de combustion : moteur thermique, chauffage urbain et production d'électricité. Ses émissions ont subi une baisse rapide de 1980 à 2000 puis continuent de légèrement décroitre jusqu'à un palier. Cette baisse en deux temps est liée à la diminution de la production de l'industrie sidérurgique puis à la généralisation de l'utilisation du pot catalytique. Ce composé se disperse rapidement dans l'atmosphère et ne constitue un enjeu sanitaire qu'à proximité d'un trafic automobile dense ou en atmosphère confinée (tunnel).
Dioxyde de soufre (SO_2)	Principalement émis par le secteur de transformation d'énergie puis par l'industrie. Ce composé responsable de pollution importante au milieu du XXème siècle a observé une diminution très importante depuis l'utilisation de carburant à faible teneur en soufre et la diminution de l'utilisation de combustible fossile dans la production d'électricité. Ses concentrations sont aujourd'hui très faibles dans l'air ambiant et ne constituent plus un problème sanitaire en France.
Composés organiques volatils (COV)	Les COV constituent une famille très large de composés chimiques regroupant les composés aromatiques, les alcanes, les alcools, les phtalates, les aldéhydes etc. Ils sont émis principalement par le secteur résidentiel/tertiaire, les industries manufacturières et aujourd'hui dans une moindre mesure par le trafic routier. Leurs émissions ont diminué régulièrement depuis 1990 grâce à l'utilisation du pot catalytique, au progrès du stockage des hydrocarbures, à une meilleure gestion des solvants par les industriels (notamment avec l'instauration des plans de gestion de solvant) et à la substitution de produits manufacturés par des produits à plus faible teneur en solvant. Le benzène est le seul COV réglementé dans la loi sur l'air. Ce composé cancérigène est dorénavant essentiellement émis par le secteur résidentiel/tertiaire.
Particules	Les particules couvrent différentes fractions granulométriques parmi lesquelles la loi sur l'air fixe des valeurs de référence pour les PM_{10} (particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm) et les $PM_{2.5}$ (diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 µm). Elles sont issues de nombreuses sources différentes (trafic routier, chauffage au bois, agriculture…) mais restent un bon traceur du trafic routier, notamment en zone urbaine et en particulier au niveau des points de trafic. De manière générale, les émissions en particules diminuent régulièrement depuis 1990 sur l'ensemble des secteurs sauf pour celui du transport routier où elles se stabilisent.
Métaux lourds	Polluants présents essentiellement sous forme particulaire, ils intègrent notamment le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le mercure (Hg), le chrome (Cr), le cadmium (Cd) et l'arsenic (As). Ils sont émis majoritairement par l'industrie à l'exception du cuivre émis par le transport et le nickel par le secteur de la transformation d'énergie. Les émissions décroissent depuis une vingtaine d'années en raison des améliorations techniques apportées au secteur industriel. La diminution du plomb résulte quant à elle de l'utilisation d'essence sans plomb.
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Famille de composés émis lors des phénomènes de combustion. Ils sont émis pour deux tiers par le secteur résidentiel/tertiaire et pour un quart par le trafic routier. Les émissions ont diminué de 1990 à 2007 mais stagnent ces dernières années. Le benzo(a)pyrène, considéré comme le plus toxique, est le seul composé de la famille des HAP à être réglementé en France.
Dioxyde de carbone (CO_2)	Le CO_2, et de manière générale l'ensemble des gaz à effet de serre, ne présentent pas d'impact sanitaire mais contribuent au réchauffement climatique.
Ozone (O_3)	L'ozone est atypique par rapport aux autres composés car c'est un polluant secondaire. Il est produit principalement lors de réactions chimiques entre les COV et les NO_X sous l'action des ultraviolets. Comme il n'est pas directement émis par une source, ce polluant n'apparait pas dans l'inventaire des émissions du CITEPA. Ce composé fait néanmoins l'objet d'une surveillance et entraine régulièrement en période estivale des dépassements de la réglementation.

Tableau 31 : description des principaux polluants en air ambiant

2) Les variations temporelles des concentrations en polluants

Les variations des concentrations en polluants sont assez faibles d'une année sur l'autre mais les moyennes annuelles masquent des fluctuations plus importantes observables aux échelles mensuelles, hebdomadaires ou horaires.

A titre d'exemple, la figure ci-dessous présente le profil annuel[22] des concentrations de particules PM_{10}, de dioxyde d'azote (NO_2) et d'ozone (O_3) mesurées en moyenne sur l'ensemble des stations du réseau de mesure de la qualité de l'air Airparif couvrant le territoire de la région Ile-de-France de 2012 à 2017.

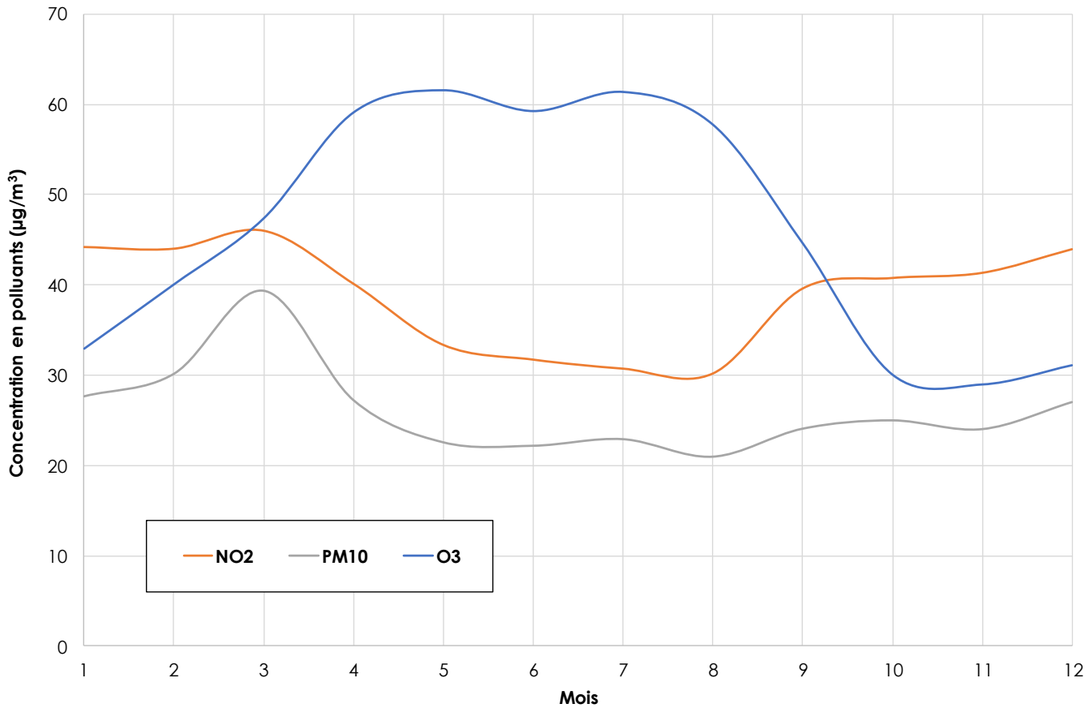


Figure 25 : profil annuel des concentrations de NO_2/PM_{10}/O_3 en Ile-de-France (données : Airparif)

Les fluctuations des concentrations de NO_2 dépendent principalement des émissions anthropiques et de la dispersion atmosphérique. Ainsi, à l'échelle d'une année, les teneurs sont plus élevées en saison froide du fait d'émissions plus importantes (notamment chauffage urbain) mais également d'une plus grande stabilité atmosphérique en hiver.

Les concentrations en O_3 varient de manière inverse à celles du NO_2. Ce comportement est lié aux réactions de chimie atmosphérique et notamment au cycle de formation/consommation entre l'ozone et les NO_x. De plus, les variations de l'ozone sont accentuées par des réactions photochimiques : les concentrations les plus élevées apparaissent lorsque l'ensoleillement est plus important.

Les variations des concentrations en particules PM_{10} sont moins corrélées avec les autres polluantes, du fait de la contribution importante d'autres sources que celles uniquement liées au trafic routier. Un pic de concentration peut ainsi être observé en mars, période d'épandages agricoles générant des particules dites « secondaires » par le biais de réactions chimiques atmosphériques.

La figure ci-dessous présente le profil journalier des concentrations en polluants pour le même ensemble de stations de mesure du réseau Airparif.

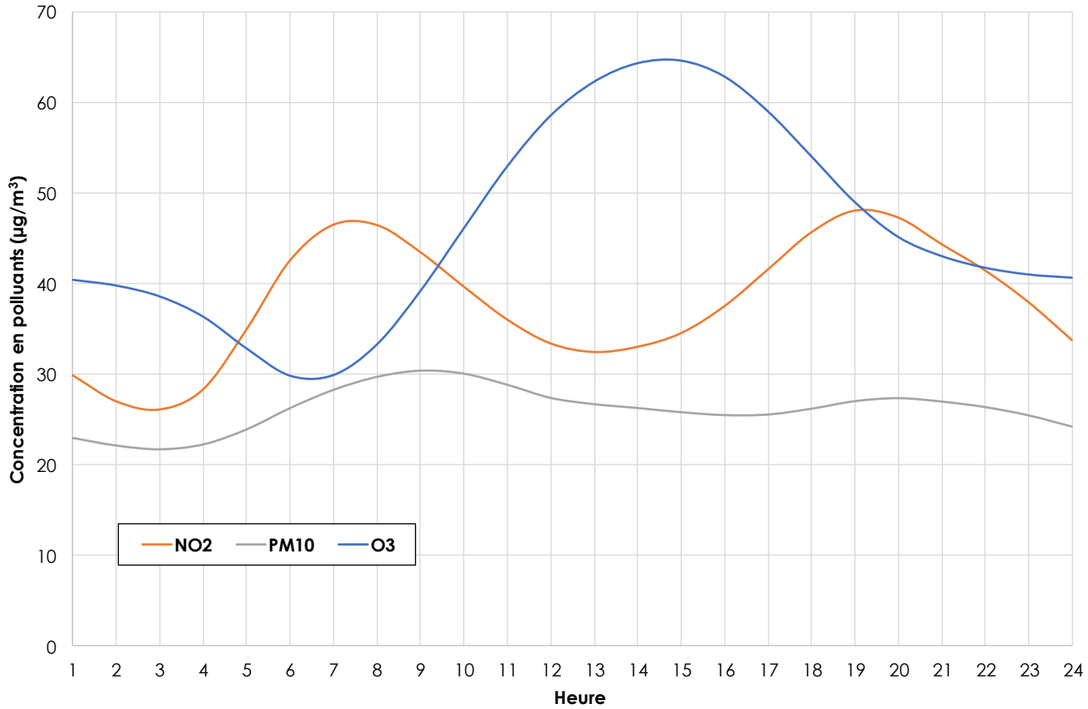


Figure 26 : profil journalier des concentrations de NO_2/PM_{10}/O_3 en Ile-de-France (données : Airparif)

A l'échelle journalière, les émissions du trafic routier sont plus fortes aux heures de pointes et la dispersion atmosphérique à l'échelle locale est plus importante aux heures creuses, ce qui entraine des pics de concentrations en NO_2 le matin (6h-8h) et le soir (18h-20h).

Comme pour le profil annuel, les concentrations en ozone suivent une évolution inverse. La production de ce composé par réaction photochimique est cette fois illustrée par le pic de 13h00 à 14h00 qui correspond en heure solaire à l'ensoleillement le plus important au zénith.

Ce comportement est moins marqué pour les particules PM_{10} en raison des autres sources d'émission de ce polluant.

[22] Le profil annuel est un graphique sur 12 mois où chaque tranche indique la moyenne des concentrations observées chaque année pendant le même mois. Le profil journalier est réalisé suivant le même principe par tranches horaires.

3) Les effets de la pollution

Effets sur la santé

Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont le résultat d'interactions complexes entre une multitude de composés. Ces effets sont quantifiables lors d'études épidémiologiques qui mettent en parallèle des indicateurs de la pollution atmosphérique aux nombres d'hospitalisation ou au taux de morbidité. On recense deux types d'effets : les **effets aigus** qui résultent de l'exposition d'individus sur une durée courte (observés immédiatement ou quelques jours après), et les **effets chroniques** qui découlent d'une exposition sur le long terme (une vie entière). Ces derniers sont plus difficiles à évaluer car l'association entre les niveaux de pollution et l'exposition n'est pas immédiate.

Chaque individu n'est pas égal face à la pollution et les effets peuvent être très variables au sein d'une même population. En effet l'exposition individuelle varie en fonction du mode de vie : exposition à d'autres pollutions (tabagisme, milieu professionnel), activité physique, lieux fréquentés... Par ailleurs il existe une différence de sensibilité des individus selon leur âge et leur condition physique (maladies cardiovasculaires ou asthmatiques). De plus, des cofacteurs comme l'apparition d'épidémies ou des phénomènes météorologiques (canicules) complexifient cette analyse.

Les effets aigus ont été évalués au travers de plusieurs études françaises[23] et internationales[24] qui mettent en évidence une augmentation de la mortalité corrélée à l'augmentation des concentrations en polluants. Les résultats du projet européen Aphekom (2008-2011) indiquent que le non-respect de l'objectif de qualité OMS pour les $PM_{2.5}$ dans les 25 villes étudiées, causerait 19 000 décès prématurés par an. En particulier, les résultats ont montré que si les niveaux de particules $PM_{2.5}$ étaient conformes aux objectifs de qualité de l'OMS de 10 µg/m³ en moyenne annuelle, les habitants de Paris et de la proche couronne gagneraient six mois d'espérance de vie (cf. figure ci-dessous).

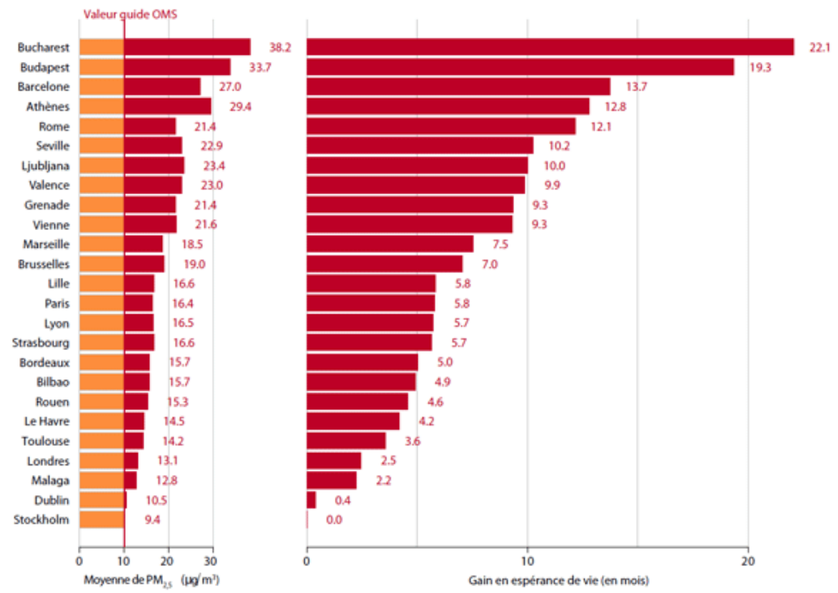


Figure 27 : gain d'espérance de vie pour une réduction des teneurs annuelles en $PM_{2.5}$ à 10 µg/m³

De plus, la pollution atmosphérique entraine des impacts sanitaires sur une part plus importante de la population par un effet pyramide : plus la gravité des effets diminue, plus le nombre de personnes affectées est important (cf. figure ci-contre – source : Direction de la santé publique de Montréal, 2003).

En 2012, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime que 3,7 millions de décès dans le monde sont provoqués par la pollution de l'air extérieur.

Figure 28 : pyramide des effets de la pollution atmosphérique

En 2015, l'Agence européenne de l'environnement (AEE) estime pour sa part à environ 400 00 par an le nombre de décès attribuables à la pollution aux particules fines $PM_{2.5}$ en Europe, avec environ 90 % des citadins européens exposés à des niveaux de pollution supérieurs aux valeurs guides de l'OMS.

Une étude[25] plus récente réalisée en 2016 par Santé publique France confirme le poids sanitaire de la pollution par les particules fines $PM_{2.5}$ en France. L'agence de santé estime au moyen d'une évaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS) une perte d'espérance de vie pouvant dépasser 2 ans (pour une personne âgée de 30 ans) dans les villes les plus exposées. Elle estime également une perte d'espérance de vie de 15 mois dans les zones urbaines de plus de 100 000 habitants, de 10 mois en moyenne pour les zones comprenant entre 2 000 et 100 000 habitants et de 9 mois en moyenne dans les zones rurales. Au total, cela correspond en France à environ 48 000 décès prématurés par an, soit 9,6 % de la mortalité totale en France. Ces résultats actualisent la dernière estimation réalisée en 2005 dans le cadre du programme CAFE[26] de la Commission européenne (environ 42 000 décès prématurés avec une perte moyenne d'espérance de vie de 8,2 mois) et confirment le même ordre de grandeur.

Effets sur la végétation

Les polluants considérés comme prioritaires compte tenu de leur impact sur la végétation sont le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, l'ozone, le fluor et les particules. Les dommages causés par ces polluants peuvent être classés en deux catégories : les effets visibles, avec l'apparition de taches ou de nécroses affaiblissant la plante en favorisant l'entrée d'agents pathogènes, et les effets invisibles altérant la croissance de la plante et diminuant le rendement des cultures. Alors que les effets visibles sont souvent associés aux pics de pollution, la diminution de la croissance des végétaux résulte d'une exposition sur le long terme.

Effets sur les matériaux

La pollution, en plus de salir la surface des bâtiments, contribue également à leur dégradation physique. Les particules carbonées des cendres volantes et des suies se fixent sur les surfaces gypseuses et colorent la surface en noir en formant une croûte. Les métaux présents agissent ensuite comme catalyseur au processus d'oxydation par le SO_2 augmentant l'épaisseur de la croûte par la formation de cristaux de gypse. Cette corrosion est d'autant plus sévère que la pierre attaquée est poreuse. De plus, d'autres effets sont observables, comme la dégradation des matières plastiques par l'ozone ou l'oxydation des métaux par les pluies acides.

[23]Exemple : programme ERPURS (Évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé - ORS Ile-de-France) ; programme PSAS-9 (Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain- INVS).
[24]Meta-analysis of the Italian Studies on short-term effects of Air Pollution (MISA) ; Estudio Multicéntrico Español sobre la relación entre la Contaminación Atmosférica y la Mortalidad (EMECAM) ; National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study (NMMAPS) aux Etats-Unis ; Air Pollution and Health: A European Approach (APHEA) en Europe.

[25] Rapport et synthèse – Impact de l'exposition chronique aux particules fines sur la mortalité en France continentale et analyses des gains en santé de plusieurs scénarios de réduction de la pollution atmosphérique.
[26] Programme de recherche « Clean Air for Europe » de la Commission européenne.

4) Coûts économiques des effets de la pollution atmosphérique

L'évaluation du coût social, économique et sanitaire de la pollution de l'air est un exercice complexe qui repose en amont sur de nombreuses hypothèses et incertitudes (concentrations en polluants, exposition de la population, etc.), ainsi que sur de nombreuses incertitudes intrinsèques suivant les choix méthodologiques (valeur d'une vie statistique, etc.), expliquant la grande variation des estimations disponibles dans la littérature.

En 2005, le programme CAFE de la Commission européenne estime le cout de la mortalité dans 25 pays de l'Union européenne en lien avec la pollution particulaire entre 190,2 et 702,8 milliards d'euros et celui de la morbidité à 78,3 milliards d'euros. Concernant la France, l'estimation de la mortalité est de 21,3 milliards d'euros et de 6,4 milliards d'euros pour la morbidité.

Le Commissariat général au développement durable (CGDD) a estimé en 2012, au travers la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement un coût annuel de la pollution de l'air extérieur pour la France métropolitaine compris à minima entre 20 et 30 milliards d'euros, en prenant notamment en considération les frais pour les consultations, les hospitalisations, les médicaments, les soins et les indemnités journalières[27].

En avril 2015, une étude[28] conjointe de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) estime que, pour la France seule, le coût des décès imputables à la pollution de l'air s'élève à 48 milliards d'euros par an.

Un rapport[29] du Sénat publié en juillet 2015 reprend les données du programme CAFE et estime que le coût total de l'impact sanitaire (mortalité et morbidité) de la pollution atmosphérique (particules et ozone) pour la France serait estimé entre 68 et 97 milliards d'euros par an. Par ailleurs, ce rapport met en évidence que le montant de certaines actions de lutte contre la pollution atmosphérique est inférieur aux bénéfices attendus de la prévention des impacts sanitaires, et donc que ces mesures de prévention engendrent des économies pour le pays. Par exemple, le projet Aphekom a permis de montrer que les politiques européennes de diminution du taux de soufre dans les carburants dans les années 1990 se sont traduites par une baisse du niveau de dioxyde de soufre (SO2) ambiant et une réduction de la mortalité dans 14 villes européennes ; environ 2 200 décès par an, soit une économie estimée à 192 millions d'euros.

D'après une étude réalisée conjointement par la Banque Mondiale et l'Université de Washington et parue en septembre 2016[30], le coût des décès prématurés liés à la pollution de l'air s'élève à environ 199 milliards d'euros pour l'année civile 2013, et cette pollution est le 4e facteur de décès prématuré dans le monde.

Par ailleurs d'autres coûts non sanitaires doivent également être pris en compte (baisse des rendements agricoles, perte de biodiversité, dégradations des bâtiments, dépenses de prévention et de recherche d'organismes spécialisés, etc.) :

- Ainsi, le programme de recherche européen CAFE évalue en 2005 le coût de la baisse des rendements agricoles pour les 25 pays européens à 2,5 milliards d'euros.
- Une étude conjointe de l'INFRAS et de l'Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) de l'université de Karlsruhe a retenu, pour la France, un coût lié aux dommages de la pollution sur patrimoine bâti d'environ 3,4 milliards d'euros en 2000[31].
- Enfin, le rapport du Sénat de 2015 estime le cout non sanitaire de la pollution de l'air en France (baisse des rendements agricoles, dégradation des bâtiments, dépenses de recherche, etc.) à 4,3 milliards d'euros à minima.

5) La Réglementation

La qualité de l'air est réglementée en France par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 (loi LAURE n°96/1236). Elle traite notamment : des plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA) intégrés depuis la loi Grenelle II de 2010 au volet Air des Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE), des plans de protection de l'atmosphère (PPA), des plans de déplacements urbains (PDU), des mesures d'urgence à mettre en œuvre en cas de dépassement des valeurs limites et des mesures techniques nationales de prévention de la pollution atmosphérique et d'utilisation rationnelle de l'énergie.

La mise en application de la loi sur l'air est à l'origine principalement formulée dans le décret du 6 mai 1998 ainsi que dans l'arrêté ministériel du 17 août 1998. Cette réglementation est amenée à évoluer régulièrement en fonction des nouvelles directives européennes ou politiques nationales. Actuellement, la réglementation française à prendre en compte pour la surveillance de la qualité de l'air est constituée par le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 portant transposition de la directive européenne n°2008/50/CE. Le tableau 13 récapitule l'ensemble des textes relatifs à la qualité de l'air et son évaluation. Les valeurs limites issues de cette réglementation sont présentées dans les tableaux 14 à 15.

Type de texte	Intitulé
Code de l'Environnement	La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie a été intégrée au code de l'environnement (L.221-1 à L.223-2 et R.221-1 à R.223-4)
Loi	Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie
Directive	Directive n° 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe
	Directive n° 2004/107/CE du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant
	Directive n° 2002/3/CE du 12/02/02 relative à l'ozone dans l'air ambiant
	Directive n° 2000/69/CE du 16 novembre 2000 concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant
	Directive n° 96/62/CE du 27 septembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant
Arrêté	Arrêté du 17 aout 1998 relatif aux seuils de recommandation et aux conditions de déclenchement de la procédure d'alerte
	Arrêté du 7 juillet 2009 relatif aux modalités d'analyse dans l'air et dans l'eau dans les Installations classées pour l'environnement et aux normes de référence
	Arrêté du 25 octobre 2007 modifiant l'arrêté du 17 mars 2003 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public
	Arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux indices de la qualité de l'air
	Arrêté du 11 juin 2003 relatif aux informations à fournir au public en cas de dépassement ou de risque de dépassement des seuils de recommandation ou des seuils d'alerte
	Arrêté du 17 mars 2003 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public
	Arrêté du 29 juillet 2010 portant désignation d'un organisme chargé de la coordination technique de la surveillance de la qualité de l'air au titre du code de l'environnement (livre II, titre II)
	Arrêté du 21 octobre 2010 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air et à l'information du public
Décret	Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air
	Décret n° 2010-1268 du 22 octobre 2010 relatif à la régionalisation des organismes agréés de surveillance de la qualité de l'air
Circulaire	Circulaire du 12 octobre 2007 relative à l'information du public sur les particules en suspension dans l'air ambiant.
	Circulaire Equipement/Santé/Ecologie du 25 février 2005 relative à la prise en compte des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact des infrastructures routières.

Tableau 32 : récapitulatif de la réglementation en vigueur en France sur la qualité de l'air

[27] Commissariat Général au Développement Durable. Rapport de la Commission des comptes et de l'économie de l'environnement - Santé et qualité de l'air extérieur. Juin 2012.
[28] OMS & OCDE. Economic cost of the health impact of air pollution in Europe [Le coût économique de l'impact sanitaire de la pollution de l'air en Europe]. 2015.
[29] Commission d'enquête sénatoriale. Pollution de l'air, le coût de l'inaction. Tome I : Rapport. Juillet 2015.
[30] Banque Mondiale & Université de Washington (IHME). The Cost of Air Pollution: Strengthening the economic case for action [Le coût de la pollution atmosphérique : Renforcer les arguments économiques en faveur de l'action]. Septembre 2016.
[31] INFRAS & IWW. External Costs of Transport (accident, environmental and congestion costs) in Western Europe. 2000.

Benzène (C_6H_6)		
Objectif de qualité	2 µg/m³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	5 µg/m³	Moyenne annuelle
Dioxyde d'azote (NO_2)		
Objectif de qualité	40 µg/m³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	200 µg/m³	Moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures par an
	40 µg/m³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la végétation	30 µg/m³	Moyenne annuelle d'oxydes d'azote
Seuil d'information et de recommandation	200 µg/m³	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	400 µg/m³	Moyenne tri-horaire
	200 µg/m³	Moyenne tri-horaire prévue à J+1 si 200 µg/m³ dépassés à J0 et J-1 en moyenne tri-horaire
Ozone (O_3)		
Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	120 µg/m³	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures par an
Objectif de qualité pour la protection de la végétation	6 000 µg/m³.h	AOT40[32] calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	120 µg/m³	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 jours par an en moyenne calculée sur 3 ans
Valeur cible pour la protection de la végétation	18 000 µg/m³.h	AOT40, calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet (en moyenne sur 5 ans)
Seuil d'information et de recommandation	180 µg/m³	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	240 µg/m³	Moyenne horaire
Seuils d'alerte nécessitant la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence	1er seuil : 240 µg/m³	Moyenne tri-horaire
	2ème seuil : 300 µg/m³	Moyenne tri-horaire
	3ème seuil : 360 µg/m³	Moyenne horaire
Monoxyde de carbone (CO)		
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	10 000 µg/m³	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures
Dioxyde de soufre (SO_2)		
Objectif de qualité	50 µg/m³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	350 µg/m³	Moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures par an
	125 µg/m³	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 jours par an
Valeur limite pour la protection des écosystèmes	20 µg/m³	Moyenne annuelle et moyenne sur la période du 1er octobre au 31 mars
Seuil d'information et de recommandation	300 µg/m³	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	500 µg/m³	Moyenne horaire pendant 3 heures consécutives

Tableau 33 : valeurs réglementaires pour les composés gazeux dans l'air ambiant

Particules PM_{10}		
Objectif de qualité	30 µg/m³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	50 µg/m³	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
	40 µg/m³	Moyenne annuelle
Seuil d'information et de recommandation	50 µg/m³	Moyenne sur 24 heures
Seuil d'alerte	80 µg/m³	Moyenne sur 24 heures
Particules $PM_{2.5}$		
Objectif de qualité	10 µg/m³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	25 µg/m³	Moyenne annuelle
Valeur cible	20 µg/m³	Moyenne annuelle
Plomb (Pb)		
Objectif de qualité	0,25 µg/m³	Moyenne annuelle
Valeur limite	0,5 µg/m³	Moyenne annuelle
Arsenic (As)		
Valeur cible	6 ng/m³	Moyenne annuelle
Cadmium (Cd)		
Valeur cible	5 ng/m³	Moyenne annuelle
Nickel (Ni)		
Valeur cible	20 ng/m³	Moyenne annuelle
Benzo[a]pyrène (BaP)		
Valeur cible	1 ng/m³	Moyenne annuelle

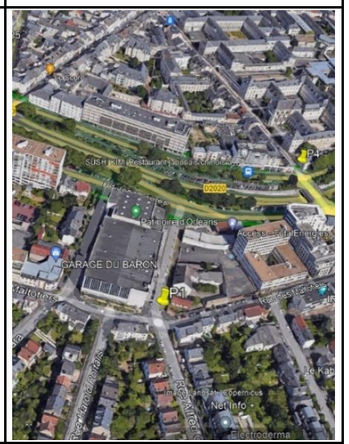
Tableau 34 : valeurs réglementaires pour les composés particulaires dans l'air ambiant

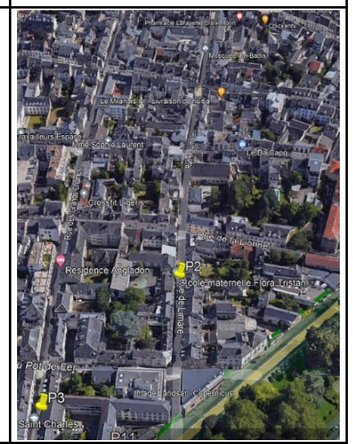
Définition des seuils	
Objectif de qualité	Niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.
Valeur limite	Niveau à atteindre dans un 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.
Seuil de recommandation et d'information	Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.
Seuil d'alerte	Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

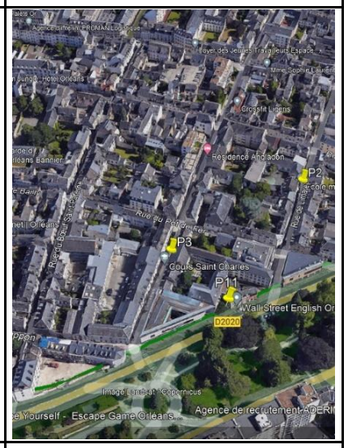
Tableau 35 : définition des seuils réglementaires

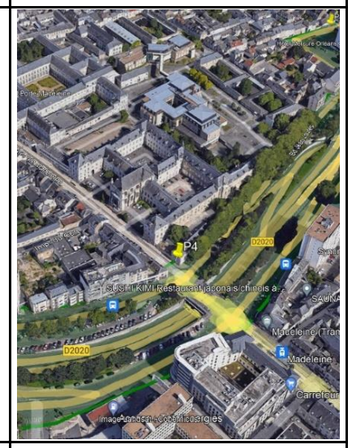
[32] AOT 40 (exprimé en µg/m³.heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ et 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 h et 20 h.

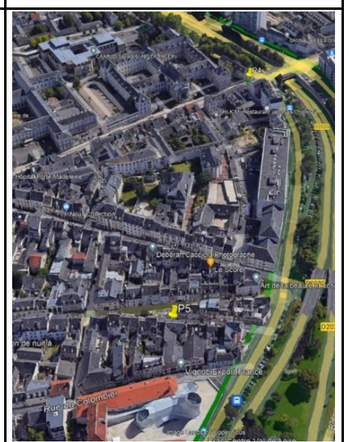
Annexe 2 : Fiche des points de mesure

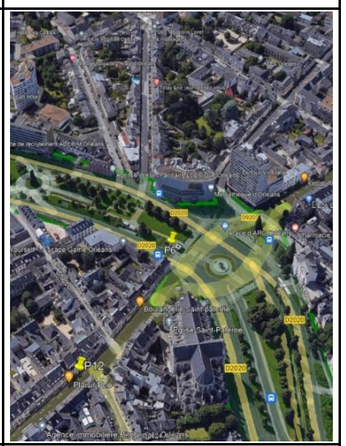
P01					
Localisation :	Rue Albert Lejeune		**Coordonnées**		
Typologie :	fond urbain		47°54'10.67"N	1°53'31.91"E	
Photographies			**Plan**		
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA839	08/01/2024	11:23	22/01/2024	11:04

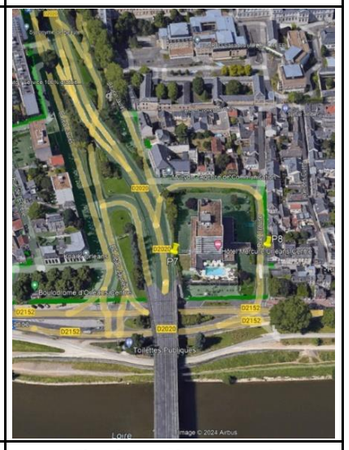
P02					
Localisation :	Rue de Limare		**Coordonnées**		
Typologie :	fond urbain		47°54'17.07"N	1°53'55.79"E	
Photographies			**Plan**		
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA845	08/01/2024	11:00	22/01/2024	10:54

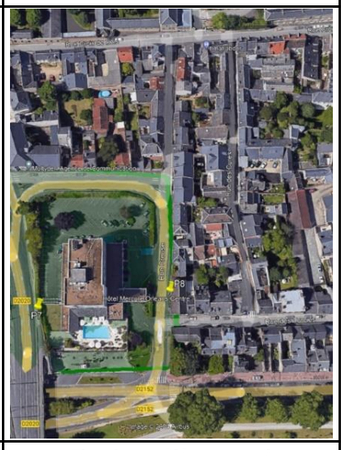
P03					
Localisation :	Rue des Grands Champs		**Coordonnées**		
Typologie :	fond urbain		47°54'19.88"N	1°53'59.36"E	
Photographies			**Plan**		
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA834	08/01/2024	10:58	22/01/2024	10:50

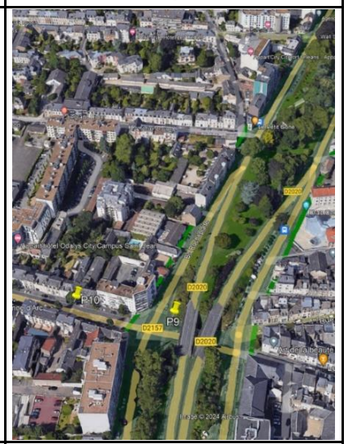
P04					
Localisation :	Boulevard Jean Jaurès		**Coordonnées**		
Typologie :	trafic		47°54'4.96"N	1°53'38.50"E	
Photographies			**Plan**		
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA837	08/01/2024	11:26	22/01/2024	11:09

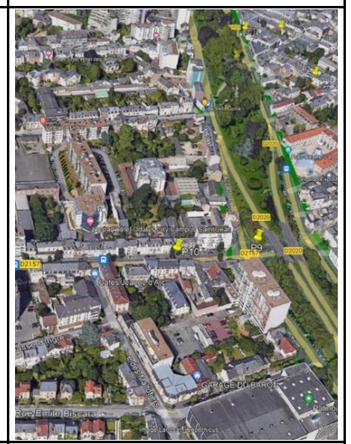
P05					
Localisation :	Rue Charles Coudière			**Coordonnées**	
Typologie :	fond urbain			47°54'12.66"N	1°53'46.93"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA828	08/01/2024	11:10	22/01/2024	10:58

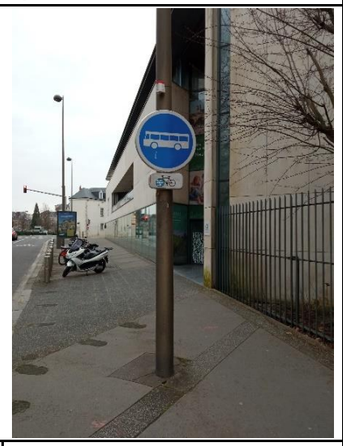
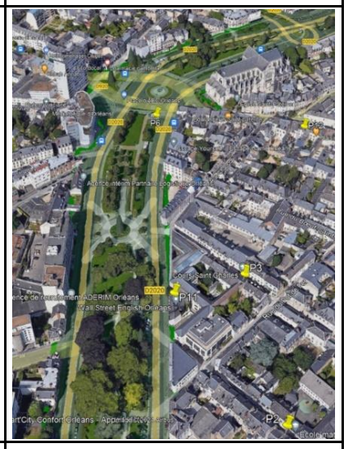
P06					
Localisation :	Boulevard Rocheplatte			**Coordonnées**	
Typologie :	trafic			47°54'25.34"N	1°54'3.94"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA826	08/01/2024	10:45	22/01/2024	10:43

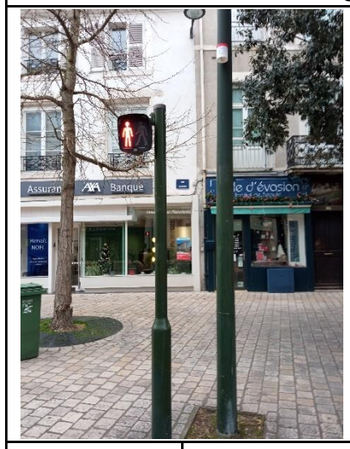
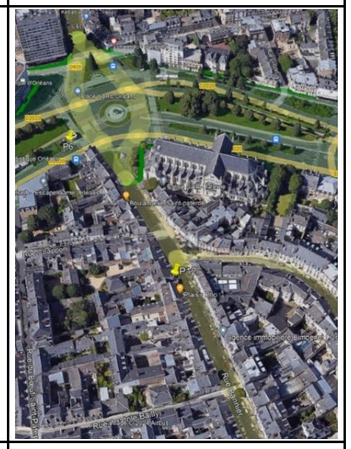
P07					
Localisation :	D2020			**Coordonnées**	
Typologie :	trafic			47°53'54.02"N	1°53'43.62"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA825	08/01/2024	11:33	22/01/2024	11:15

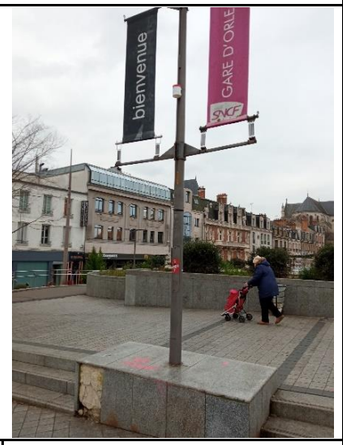
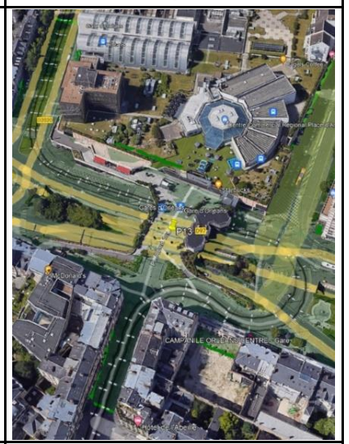
P08					
Localisation :	Rue Creuse			**Coordonnées**	
Typologie :	fond urbain			47°53'54.30"N	1°53'46.96"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA854	08/01/2024	11:32	22/01/2024	11:18

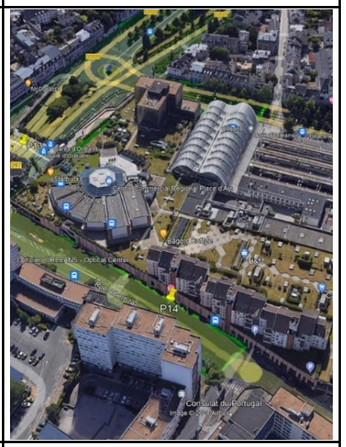
P09					
Localisation :	Place du Moulin de l'Hôpital		**Coordonnées**		
Typologie :	trafic		47°54'13.97"N	1°53'41.52"E	
Photographies			**Plan**		
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA867	08/01/2024	11:16	22/01/2024	11:00

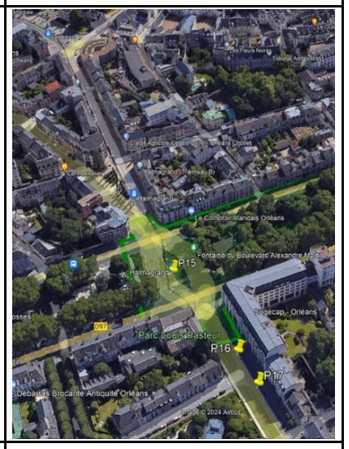
P10					
Localisation :	D2157		**Coordonnées**		
Typologie :	fond urbain		47°54'15.33"N	1°53'38.79"E	
Photographies			**Plan**		
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA835	08/01/2024	11:19	22/01/2024	11:02

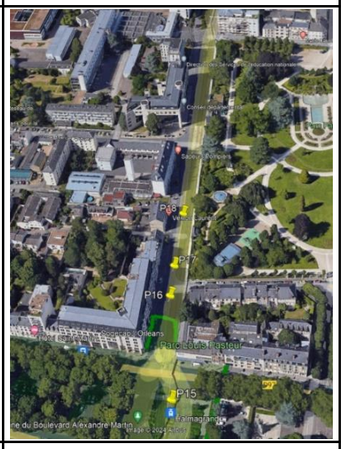
P11					
Localisation :	12 D2020		**Coordonnées**		
Typologie :	trafic		47°54'20.75"N	1°53'57.17"E	
Photographies			**Plan**		
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA824	08/01/2024	11:02	22/01/2024	10:52

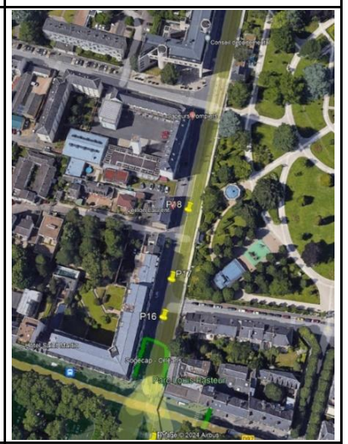
P12					
Localisation :	Rue Bannier		**Coordonnées**		
Typologie :	fond urbain		47°54'21.80"N	1°54'7.33"E	
Photographies			**Plan**		
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA822	08/01/2024	10:52	22/01/2024	10:45

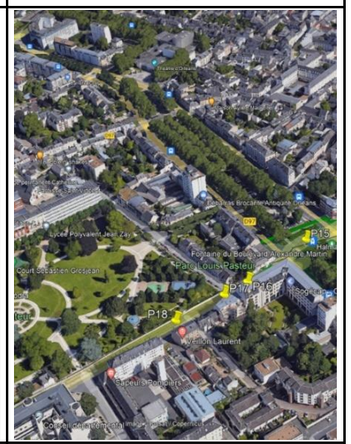
P13					
Localisation :	Place Albert 1er			**Coordonnées**	
Typologie :	fond urbain			47°54'23.86"N	1°54'18.60"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA864	08/01/2024	10:37	22/01/2024	10:38

P14					
Localisation :	Rue Albert 1er			**Coordonnées**	
Typologie :	trafic			47°54'28.32"N	1°54'23.14"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA821	08/01/2024	10:33	22/01/2024	10:33

P15					
Localisation :	Boulevard Alexandre Martin			**Coordonnées**	
Typologie :	trafic			47°54'20.02"N	1°54'35.41"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA831	08/01/2024	10:28	22/01/2024	10:28

P16					
Localisation :	1 Rue Eugène Vignat			**Coordonnées**	
Typologie :	fond urbain			47°54'22.36"N	1°54'35.81"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA870	08/01/2024	10:27	22/01/2024	10:27

P17					
Localisation :	3 Rue Eugène Vignat			**Coordonnées**	
Typologie :	fond urbain			47°54'23.12"N	1°54'36.09"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA842	08/01/2024	10:26	22/01/2024	10:26

P18					
Localisation :	7 Rue Eugène Vignat			**Coordonnées**	
Typologie :	fond urbain			47°54'24.57"N	1°54'36.68"E
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	FCA846	08/01/2024	10:25	22/01/2024	10:25

Annexe 3 : Incertitudes sur l'évaluation des risques sanitaires

1) Identification des dangers

Bien que les polluants considérés dans l'ERS soient basés sur la note méthodologique du 22 février 2019, une incertitude réside sur le choix d'un nombre fini de substances, qui peut sous-estimer le risque pour celles non prises en compte. L'absence de données concernant l'effet de mélange ou les produits de dégradation et de métabolisation des polluants augmente cette incertitude sans pour autant pouvoir conclure sur une surestimation (ex : polluant dégradé vers une substance moins toxique) ou sur une sous-estimation des effets (ex : exposition à un mélange de substances plus délétère qu'à une substance seule).

2) Relation dose-réponse

Cette étape apporte plusieurs incertitudes liées à l'élaboration des VTR. En effet une extrapolation est réalisée entre les hautes doses utilisées en laboratoire pour visualiser les effets des substances sur la santé, et les faibles doses représentatives d'une exposition environnementale. La transposition des résultats issus d'expérimentations animales à l'homme présente également une incertitude. Dans les deux cas le caractère de surestimation ou de sous-estimation de la méthode n'est pas déterminé.

3) Estimation de l'exposition

Les voies d'exposition par contact cutané et par ingestion n'étant pas prises en compte, une sous-estimation de l'exposition des populations peut intervenir. Le choix des scénarios apporte également une incertitude, les hypothèses d'exposition tendant généralement à rester majorantes. De plus, les concentrations sont prises au niveau du sol ce qui constitue également une hypothèse majorante par rapport à l'exposition en hauteur en façade des bâtiments.

Une autre incertitude est liée aux concentrations modélisées (incertitude du modèle) et aux concentrations de fond sélectionnées (incertitude de la mesure ou des sources bibliographiques).

Enfin, l'hypothèse est faite que les concentrations sont constantes sur toute la période d'exposition de la population, alors que celle-ci peut avoir été, ou pourra être exposée dans le futur, à des concentrations potentiellement plus élevées (sous-estimation) ou plus faibles (surestimation).

4) Caractérisation du risque

Cette étape est basée sur l'ensemble des données précédemment utilisées, elle cumule donc l'ensemble des incertitudes listées ci-dessus auxquelles s'ajoute celle sur les calculs du quotient de danger et de l'excès de risque individuel.