CAEN LA MER HABITAT

OPERATION D'AMENAGEMENT
DE LA FOLIE COUVRECHEF

ETUDE D'IMPACT DU LOTISSEMENT DE LA FOLIE COUVRECHEF - TOME 2 : ANNEXES

INGETEC

Aff. 13487/1 - VA du 19/04/2024

FICHE TECHNIQUE DU DOCUMENT

Maîtrise d'Ouvrage :	Maîtrise d'œuvre urbaine :
Caen La Mer Habitat 1 Place Jean Nouzille CS 15227 14052 CAEN Cedex 4	**MOSAIC Aménagement** CITIS – LES MANAGERS 15 av de cambridge BP 60269 14209 HÉROUVILLE-SAINT-CLAIR CEDEX

Document établi par :	Avec la participation de :
INGETEC	**PIERRE DUFRENE** – *1 rue du Cotentin - 14000 CAEN* **RINCENT AIR** – *5, rue Edmond Michelet – 93360 NEUILLY-PLAISANCE* **IMPÉDANCE** – *80, Domaine de Montvoisin – 91400 GOMETZ LA VILLE*

Référence, auteur et archivage du document

Référence	Aff. 13487/1 - VA
Auteurs	Amélie DOSSIER – Chargée d'études & Mathieu DECAIGNY - Directeur de Projet
Archivage	P:\Operations\OPE13400\13487\1\Documents\03 - Etude d'impact\TOME 2 - Annexes\13487-1 Etude d'impact Lotissement Folie Couvrechef - TOME 2 Annexes.docx

Contrôle interne et suivi des modifications

Contrôle	Date :	Par :
Auto-contrôlé	19/04/24	Amélie DOSSIER – Chargée d'études
Vérifié et présenté	19/04/24	Mathieu DECAIGNY - Directeur de Projet
Approuvé	19/04/24	Mathieu DECAIGNY - Directeur de Projet

Version	Date	Nature des modifications
A	19/04/24	

LISTE DES ANNEXES

Etude air et santé – Rincent Air 2023	**ANNEXE 1**
Etude d'impact acoustique – Impédance 2023	**ANNEXE 2**
Etude d'impact volet Milieux Naturels- DIAGNOSTIC – PIERRE DUFRENE 2023	**ANNEXE 3 A**
Etude d'impact volet Milieux Naturels- ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES– PIERRE DUFRENE 2023	**ANNEXE 3 B**
Etude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables et de récupération – INGETEC 2024	**ANNEXE 4**
Etude d'optimisation de la densité des constructions – INGETEC 2024	**ANNEXE 5**
Etude de génération et distribution de trafic– INGETEC 2023	**ANNEXE 6**
Autorisation raccordement eau potable - EAU BASSIN CAENNAIS 2024	**ANNEXE 7**
Autorisation raccordement eaux usées - CU2024	**ANNEXE 8**

ⓘ Les études environnementales et études techniques qui sont annexées à la présente étude d'impact (annexes 1 à 6) ont été réalisées dans le cadre des études préalables au projet et donc en parallèle de la réflexion menée par la maîtrise d'ouvrage et son équipe de maîtrise d'œuvre sur ce projet.

ANNEXE 1 – ETUDE AIR ET SANTE – RINCENT AIR 2023

Rincent Air

PROJET D'AMENAGEMENT « LA FOLIE COUVRE-CHEF » A CAEN (14)

ETUDE AIR ET SANTE

Commanditaire :	**Ingetec**	Rapport :	**Final**
Réalisation :	**Rincent Air**	Phase :	**1 / 1**
Auteur :	**VL**	Version :	**RP-AF23090-V1**
Validation :	**FC**	Date :	**15/12/2023**

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) Répartition des secteurs d'émissions dans le département du Calvados 5
II.1.2) Emissions liées au trafic routier 5
II.1.3) Secteur résidentiel/tertiaire 5
II.1.4) Secteur industriel 6
II.2 POPULATION IMPACTEE 6
II.2.1) Population générale 6
II.2.2) Population vulnérable 7
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.4.3) EIS-PA dans l'agglomération de Caen (2009-2010) 10
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 11

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

IV. EFFETS DU PROJET : ESTIMATION DES ÉMISSIONS POLLUANTES 16

IV.1 METHODOLOGIE 16
IV.1.1) Méthode de calcul 16
IV.1.2) Scénarios considérés 16
IV.1.3) Données de trafic 16
IV.1.4) Parc de véhicules 16
IV.1.5) Facteurs d'émissions unitaires 16
IV.1.6) Bande d'étude 17
IV.2 RESULTATS DU CALCUL DES EMISSIONS POLLUANTES 17
IV.2.1) Emissions polluantes globales 17
IV.2.2) Cartographie des émissions 18
IV.2.3) Etude des variations liées au projet 19
IV.4 MONETARISATION DES COUTS 20
IV.4.1) Coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique 20
IV.4.2) Coûts collectifs liés à l'effet de serre 20

V. EFFETS DU PROJET : MODÉLISATION DES CONCENTRATIONS 21

V.1 METHODOLOGIE 21
V.1.1) Modèle 21
V.1.2) Emissions polluantes 21
V.1.3) Météorologie 21
V.1.4) Topographie 21
V.1.5) Pollution de fond 21
V.2 RESULTATS DE LA MODELISATION 22
V.2.1) Cartographies des concentrations 22
V.2.2) Variation des concentrations 23
V.2.3) Indice IPP 24

VI. EFFETS DU PROJET : ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES 25

VI.1 METHODOLOGIE 25
VI.1.1) Sites étudiés 25
VI.1.2) Etapes de l'évaluation des risques sanitaires 25
VI.1.3) Identification des dangers 25
VI.2 CARACTERISATION DU RISQUE PAR INHALATION – SUBSTANCES A EFFET DE SEUIL 26
VI.2.1) Principe 26
VI.2.2) Résultats 26
VI.3 CARACTERISATION DU RISQUE PAR INHALATION – SUBSTANCES SANS EFFET DE SEUIL 27
VI.3.1) Principe 27
VI.3.2) Résultats 27
VI.4 CARACTERISATION DU RISQUE PAR INHALATION – SUBSTANCES SANS VTR 28
VI.4.1) Principe 28
VI.4.2) Résultats 28
VI.5 INCERTITUDES ASSOCIEES A L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES 28
VI.5.1) Identification des dangers 28
VI.5.2) Relation dose-réponse 28
VI.5.3) Estimation de l'exposition 28
VI.5.4) Caractérisation du risque 28

VII. MESURES D'ÉVITEMENT DE RÉDUCTION OU DE COMPENSATION 29

VII.1 EN PHASE PROGRAMMATION/CONCEPTION DE PROJET 29
VII.2 EN PHASE CHANTIER 30

VIII. SYNTHÈSE 31

VIII.1 ETAT INITIAL 31
VIII.2 EFFETS DU PROJET 31

ANNEXE

Annexe 1 : Rappel des effets de la pollution atmosphérique sur la santé 33
Annexe 2 : Fiches de point de mesure 38
Annexe 3 : Concentrations modélisées pour l'évaluation des risques sanitaires 40

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 la station Atmo Normandie 9
Tableau 6 : plan d'échantillonnage 12
Tableau 7 : étude des données Atmo Normandie 13
Tableau 8 : facteurs de validité des mesures 14
Tableau 9 : résultats des mesures NO_2 14
Tableau 10 : données de trafic 16
Tableau 11 : définition de la bande d'étude (note technique du 22/02/2019) 17
Tableau 12 : bilan des émissions de PES 17
Tableau 13 : bilan des émissions de GES 17
Tableau 14 : récapitulatif des émissions de NOx par brins routiers 19
Tableau 15 : valeurs tutélaires du coût de la pollution liée au trafic routier 20
Tableau 16 : facteurs d'évolution des valeurs tutélaires 20
Tableau 17 : valeurs tutélaires retenues pour le coût de la pollution 20
Tableau 18 : coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique 20
Tableau 19 : coûts collectifs liés à l'effet de serre 20
Tableau 20 : sources utilisées pour le bruit de fond 21
Tableau 21 : concentrations de fond utilisées 21
Tableau 22 : concentrations moyennes en NO_2 sur les points d'intérêt 23
Tableau 23 : IPP selon les scénarios considérés 24
Tableau 24 : recensement des valeurs disponibles 25
Tableau 25 : paramètres d'exposition 26
Tableau 26 : VTR à effets de seuil pour l'exposition par inhalation 26
Tableau 27 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste 26
Tableau 28 : paramètres d'exposition 27
Tableau 29 : VTR sans effet de seuil pour l'exposition par inhalation 27
Tableau 30 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste 27
Tableau 31 : valeurs guides pour le NO_2 (expositions chronique et aigue) 28
Tableau 32 : comparaison des concentrations aux valeurs guides et réglementaires 28
Tableau 33 : description des principaux polluants en air ambiant 33
Tableau 34 : récapitulatif de la réglementation en vigueur en France sur la qualité de l'air 36
Tableau 35 : valeurs réglementaires pour les composés gazeux dans l'air ambiant 37
Tableau 36 : valeurs réglementaires pour les composés particulaires dans l'air ambiant 37
Tableau 37 : définition des seuils réglementaires 37
Tableau 38 : concentrations modélisées en moyenne annuelle 40
Tableau 39 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant 40
Tableau 40 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant 40

FIGURES

Figure 1 : émissions atmosphériques par secteur dans le Calvados en 2019 5
Figure 2 : localisation des principaux axes routiers dans la zone d'étude 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 de la station 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 17
Figure 16 : émissions de NO_X – scénario actuel 18
Figure 17 : émissions de NO_X – scénario futur sans projet 18
Figure 18 : émissions de NO_X – scénario futur avec projet 18
Figure 19 : variation émissions de NO_X avec / sans projet 19
Figure 20 : rose des vents utilisée pour la modélisation 21
Figure 21 : représentation du relief en vue 2D 21
Figure 22 : concentration moyenne journalière en NO_2 – scénario actuel 22
Figure 23 : concentration moyenne journalière en NO_2 – scénario futur sans projet 22
Figure 24 : concentration future moyenne journalière en NO_2 – futur avec projet 22
Figure 25 : variation des concentrations en NO_2 entre le scénario futur sans projet et avec projet 23
Figure 26 : histogrammes de distribution concentration/population pour le NO_2 24
Figure 27 : localisation des sites vulnérables dans la bande d'étude 25
Figure 28 : recommandations générales d'aménagements favorisant la dispersion de polluants 29
Figure 29 : profil annuel des concentrations de NO_2/PM_{10}/O_3 en Ile-de-France (données : Airparif) 34
Figure 30 : profil journalier des concentrations de NO_2/PM_{10}/O_3 en Ile-de-France (données : Airparif) 34
Figure 31 : gain d'espérance de vie pour une réduction des teneurs annuelles en $PM_{2.5}$ à 10 µg/m³ 35
Figure 32 : pyramide des effets de la pollution atmosphérique 35

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 ElSPA
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

Les données de trafic issues de l'étude de circulation indiquent un impact significatif du projet (plus de 10 %) au niveau du boulevard Jean Moulin avec un trafic supérieur à 10 000 véh/j. D'après le ***Erreur ! Source du renvoi introuvable.***, l'étude s'inscrit donc à minima sur 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 2017, 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 région Normandie, 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) Répartition des secteurs d'émissions dans le département du Calvados

La figure ci-dessous présente la contribution des différents secteurs d'activités aux émissions de polluants atmosphériques pour le département du Calvados en 2019 (estimations réalisées par Atmo Normandie).

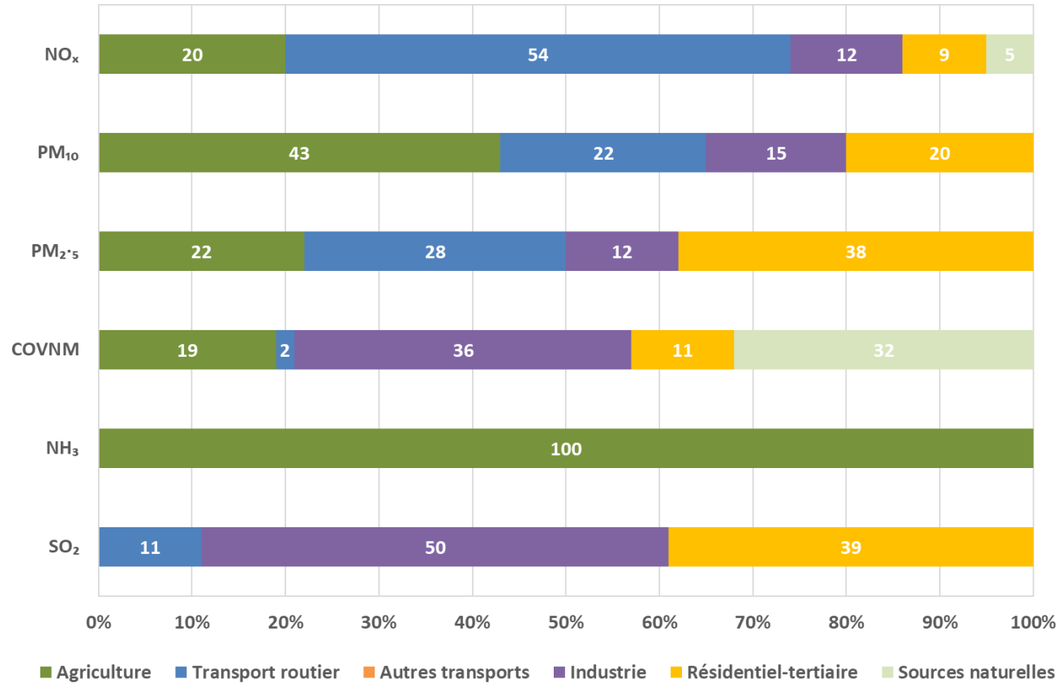


Figure 1 : émissions atmosphériques par secteur dans le Calvados en 2019

Le secteur du transport routier est le principal émetteur d'oxydes d'azote (NOx) et représente 54 % des émissions à l'échelle du département.

Les émissions de particules $PM_{2.5}$ et PM_{10} par le secteur du transport ont fortement diminuées ces 20 dernières années grâce à l'amélioration du parc de véhicules. Elle se répartissent désormais parmi les secteurs agricole, industriel et résidentiel-tertiaire (combustion liée au chauffage).

Comme pour les particules, les émissions de composés organiques volatils (COVNM) ont fortement baissé avec la modernisation du parc automobile (pots catalytiques et augmentation des moteurs 4-temps par rapport aux moteurs 2-temps pour les deux roues). En 2019, ces polluants sont émis majoritairement par le secteur industriel et par des sources naturelles.

L'utilisation de carburants à faible teneur en soufre et la diminution de l'utilisation de combustible fossile dans la production d'électricité ont fortement réduit les émissions de dioxyde de soufre (SO_2). Cependant, le principal émetteur de ce polluant reste le secteur de l'industrie. Le secteur résidentiel-tertiaire (émissions liées au chauffage) est également un émetteur secondaire non négligeable.

Les émissions d'ammoniac (NH_3) sont quant à elles issues en totalité du secteur agricole.

II.1.2) Emissions liées au trafic routier

Les principales sources d'émissions locales liées au trafic routier sont constituées par les boulevards Maréchal Juin et Jean Moulin qui bordent la zone du projet au nord et à l'est. Dans une moindre mesure, la route nationale N814 au sud et la rue Jacques Brel (D7) à l'est, à une plus grande distance du projet, peuvent également être des sources d'émissions significatives.

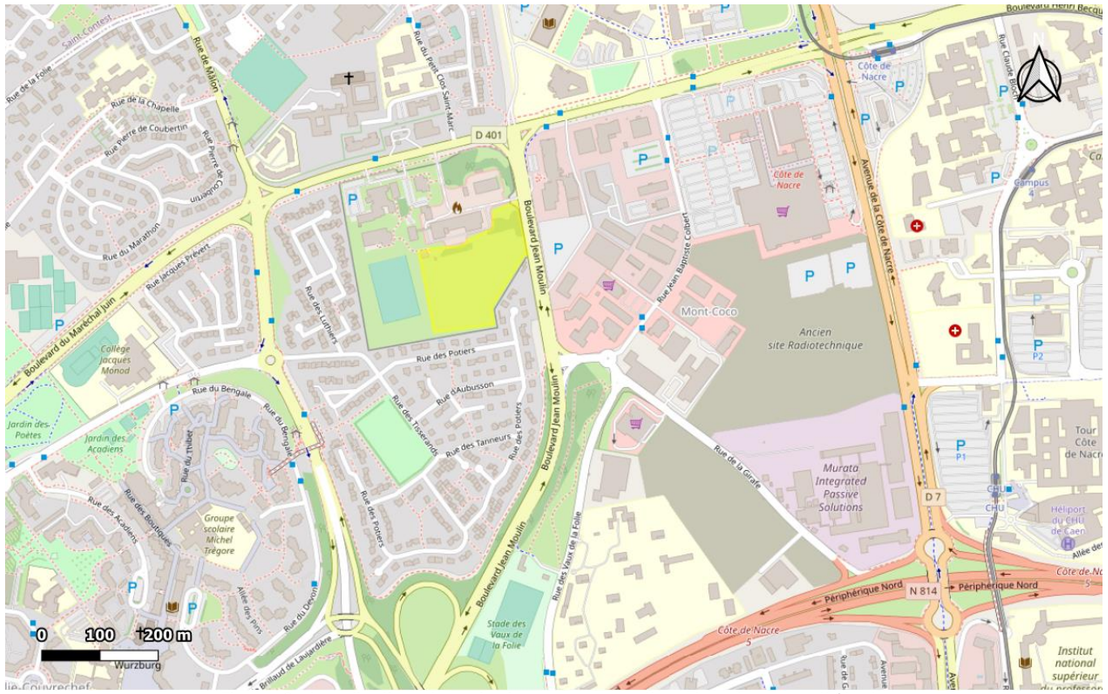


Figure 2 : localisation des principaux axes routiers dans la zone d'étude

La densité de circulation sur ces différents axes laisse envisager des émissions polluantes à l'échelle locale, notamment en oxydes d'azote (NO_x) émis principalement par le trafic routier, et dans une moindre mesure en particules (PM_{10} et $PM_{2.5}$),

II.1.3) Secteur résidentiel/tertiaire

Le projet s'inscrit dans un environnement urbanisé. Le secteur résidentiel-tertiaire est un émetteur important de SO_2 et de particules (PM_{10} et $PM_{2.5}$) dans le département du Calvados. Ces émissions viennent donc s'ajouter au bruit de fond dans la zone d'étude, notamment pour les particules fines (le SO_2 présente désormais des concentrations très faibles dans l'air ambiant).

II.1.4) 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). Par ailleurs, la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie en Normandie recense les principaux sites industriels émetteurs de polluants atmosphériques dans la région. 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 différentes 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 (kg)
1	Murata integrated passive solutions	Hexafluorure de soufre (SF6)	45
		Perfluorocarbures (PFC)	145
2	Cenexi HSC	Hydrofluorocarbures (HFC)	103

Tableau 3 : principales industries et leurs émissions de polluants atmosphériques

D'après les données disponibles, les industries polluantes identifiées à proximité du site présentent des émissions de SF6, HFC et PFC. Ces substances sont cependant des gaz à effet de serre qui n'ont pas d'impact sanitaire direct sur la population.

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. Les données obtenues pour la zone du projet sont illustrées par la figure ci-dessous :

Figure 4 : population autour de la zone du projet

La ville de Caen comprend 107 250 habitants (données 2020) avec une forte densité (environ 4200 hab/km²). Au droit de la zone du projet, la population actuelle est faible (inférieure à 2000 hab./km²). Dans l'environnement proche, la densité de population est faible voire nulle à l'est (zone industrielle) et modérée sur les autres secteurs (zones pavillonnaires).

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 (dans un rayon de 2 km). Leur description est présentée dans le tableau 4.

N°	Etablissement	Type
1	EHPAD - Résidence La Palmeraie	Etablissement pour personnes âgées
2	EHPAD Saint-Benoît de Caen	Etablissement pour personnes âgées
3	Résidence autonomie de la Folie-Couvre-Chef	Etablissement pour personnes âgées
4	CHU Caen Normandie	Etablissement de santé
5	Centre d'imagerie médicale de Basse-Normandie	Etablissement de santé
6	Hôpital privé Saint-Martin	Etablissement de santé
7	Centre de Protonthérapie de Normandie (CYCLHAD)	Etablissement de santé
8	Lycée professionnel Camille Claudel	Etablissement scolaire
9	Collège Fernand Lechanteur	Etablissement scolaire
10	Ecole primaire Les Vikings	Etablissement scolaire
11	Lycée général Victor Hugo	Etablissement scolaire
12	Lycée polyvalent Dumont d'Urville/Laplace	Etablissement scolaire
13	Ecole primaire F. Langlois	Etablissement scolaire
14	Lycée technologique privé Sainte Ursule	Etablissement scolaire
15	Collège Jacques Monod	Etablissement scolaire
16	Ecole primaire Michel Trégore	Etablissement scolaire
17	Ecole élémentaire Cinq Continents	Etablissement scolaire
18	Lycée privé Notre Dame de Fidélité	Etablissement scolaire
19	Ecole élémentaire privée Saint François	Etablissement scolaire
20	Lycée général et technologique Salvador Allende	Etablissement scolaire
21	Ecole primaire Paul Gernez	Etablissement scolaire
22	Lycée professionnel hors contrat ICEP formation Caen	Etablissement scolaire
23	Crèche Léa et Léo	Etablissement de la petite enfance
24	Crèche Parentale Molécule	Etablissement de la petite enfance
25	Crèche Parentale Frimousse	Etablissement de la petite enfance
26	Multi accueil Vert	Etablissement de la petite enfance
27	Crèche Folie Couvre-Chef	Etablissement de la petite enfance
28	Crèche Doucalinou	Etablissement de la petite enfance
29	Crèche de la Pierre Heuzé	Etablissement de la petite enfance

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

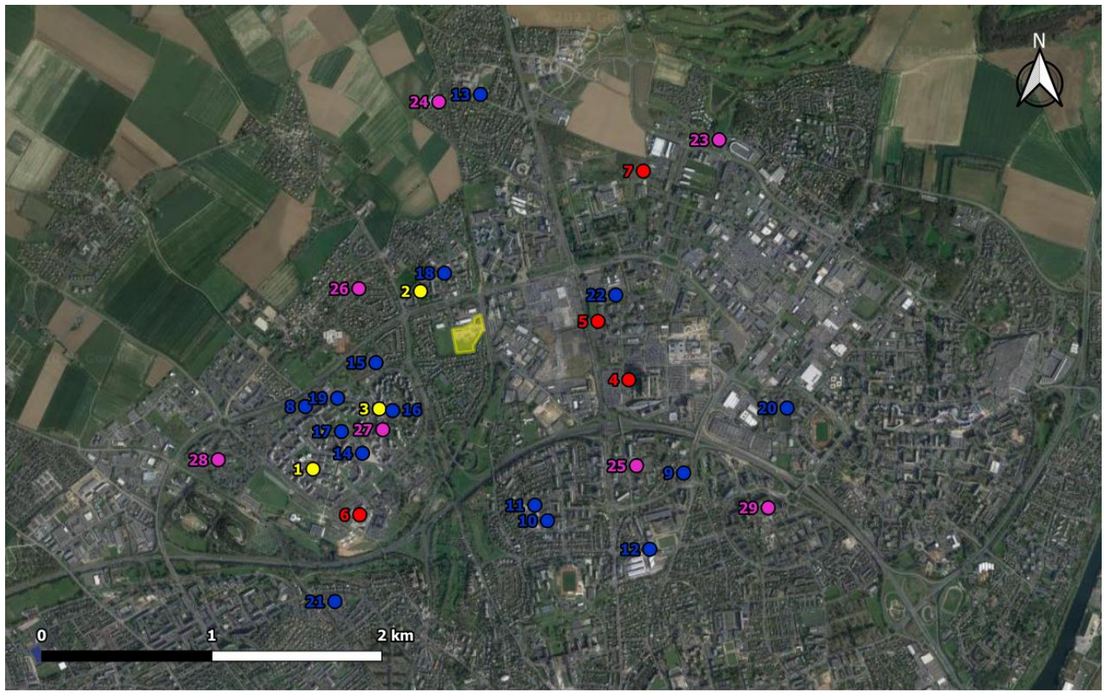


Figure 5 : localisation des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet

Ce recensement permet de localiser 29 sites sensibles dans l'environnement du projet. Les données de trafic permettront de déterminer si ces sites 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 Caen-Carpiquet, située à environ 6 km au sud-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 Caen-Carpiquet :

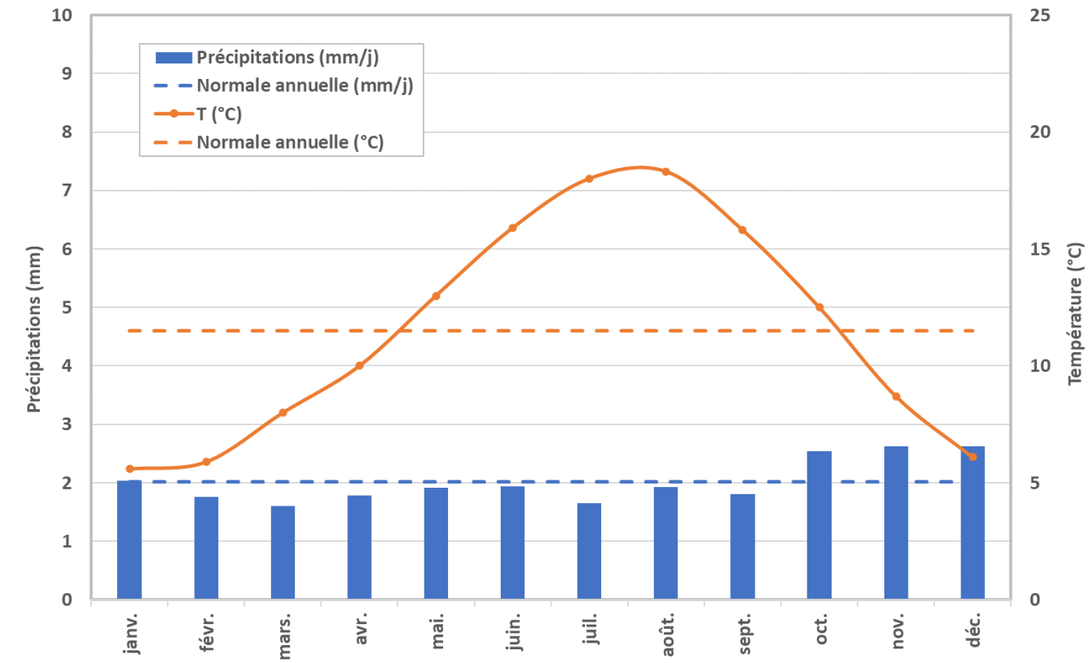


Figure 7 : normales de températures et précipitations

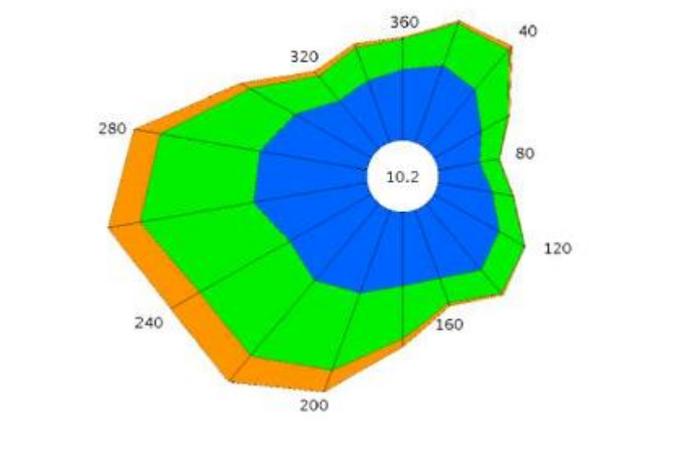


Figure 8 : rose des vents décennale

La température moyenne annuelle relevée au niveau de la station est de 11,5°C avec des maxima observées sur la période juillet/aout et des minima sur la période janvier/février.

En moyenne sur la période 1991-2020, les précipitations sont réparties de façon relativement uniforme tout au long de l'année (2,0 mm/jour) avec les mois de novembre et de décembre plus importants à 2,6 mm/jour.

La rose des vents indique quant à elle des secteurs ouest et sud-ouest majoritaires.

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

La station Atmo Normandie de fond urbain « Caen Chemin Vert » est située à environ 2 km au sud-ouest de la zone du projet : elle constitue la station la plus proche du projet (cf. figure 9). Elle est utilisée comme station de référence pour étudier les conditions locales de pollution atmosphérique.

Figure 9 : localisation de la station qualité de l'air de référence

Le tableau 5 présente les évolutions annuelles entre 2018 et 2022 des polluants mesurés par la station Atmo Normandie de Caen Chemin Vert :

Station	Polluant	Valeur	Valeur limite	2018	2019	2020	2021	2022
Chemin Vert	NO_2	Moyenne annuelle (µg/m³)	40	15	14	11	12	12
	PM_{10}	Moyenne annuelle (µg/m³)	40	17	16	15	15	14
		Nb de jours dont la moyenne journalière > 50 µg/m³	35	ND	2	1	ND	3
	$PM_{2.5}$	Moyenne annuelle (µg/m³)	25	9	9	9	10	9
	C_6H_6	Moyenne annuelle (µg/m³)	5	1	1	ND	ND	ND

Tableau 5 : moyennes annuelles des concentrations en polluants sur la station Atmo Normandie

Dioxyde d'azote (NO_2)

Les teneurs en NO_2 relevées au niveau de la station de fond urbain Caen Chemin Vert indiquent une diminution des concentrations moyennes annuelles au cours de la période 2018-2022 : de 15 à 12 µg/m³. L'année 2020 présente une baisse plus importante des concentrations qui s'explique par la mise en place des mesures sanitaires en France suite à la pandémie de Covid-19. Les moyennes annuelles mesurées respectent la valeur limite de 40 µg/m³ sur les cinq dernières années.

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

Les concentrations moyennes annuelles en PM_{10} présentent globalement la même tendance que le NO_2 sur la période 2018-2022, avec une valeur comprise entre 17 et 14 µg/m³. Les teneurs en PM_{10} mesurées respectent donc 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. 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 de la station de fond urbain.

Benzène (C_6H_6)

Les mesures de benzène au niveau de la station ne sont plus réalisées depuis l'année 2019. Cependant, les concentrations observées en 2018-2019 sont de 1 µg/m³, soit largement inférieures à la valeur limite (5 µg/m³ en moyenne annuelle) et 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 d'étude. 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) au niveau du projet.

II.4.3) EIS-PA dans l'agglomération de Caen (2009-2010)

L'Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine (EIS-PA) a pour **objectif de quantifier les bénéfices sanitaires et éventuellement économiques qui pourraient être obtenus localement si les niveaux de pollution étaient réduits**.

La méthode employée repose sur 4 étapes décrites dans le guide méthodologique publié par l'InVS. Le calcul des bénéfices sanitaires associés à une diminution de la pollution atmosphérique se base sur : les données de santé (mortalité et hospitalisation) dans la zone étudiée, les données de qualité de l'air (concentration d'un polluant) dans la zone étudiée et les relations concentration-réponse définies entre l'exposition au polluant et l'événement sanitaire étudié (issues d'études épidémiologiques).

Ces bénéfices sanitaires sont ensuite traduits en termes de bénéfices économiques selon la démarche décrite dans le guide méthodologique du projet européen Aphekom. Ils prennent en compte les dépenses de santé, le coût de l'absence au travail, les coûts associés à la perte de bien-être, à la qualité et l'espérance de vie. La mise en œuvre d'une EIS-PA est restreinte aux polluants pour lesquels la causalité a été établie à savoir l'ozone, les PM_{10} et $PM_{2,5}$.

La zone d'étude inclut 23 communes : 21 communes constituant l'unité urbaine de Caen et 2 communes adjacentes. Elle couvre une partie du territoire de la communauté d'agglomération de Caen la mer. Elle s'étend sur une superficie de 155 km² et comptait 206 000 habitants en 2009, dont 16 % de personnes de moins de 15 ans et 15 % âgées de 65 ans et plus. Les niveaux de pollution de fond sur la zone d'étude de l'agglomération de Caen sont supérieurs aux valeurs guides de l'OMS. Une diminution des niveaux d'ozone, des particules fines $PM_{2,5}$ et PM_{10} de 5 µg/m³ sur cette zone d'étude permettrait d'éviter :

- A court terme 6 décès par an et 34 hospitalisations pour causes cardiaques et respiratoires soit une économie d'environ 700 000 euros par an.
- A long terme 40 décès par an (dont la moitié pour causes cardio-vasculaires) correspondant à un gain économique d'environ 75 millions d'euros par an.

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 **Plan Régional Santé Environnement 3 (PRSE3) de Normandie**, établit sur la période 2017-2021 (le PRSE4 est en cours d'élaboration et est prévu pour fin 2023), est une déclinaison régionale du PNSE3, renouvelé tous les 5 ans comme ce dernier. Co-piloté par l'Agence Régionale de Santé (ARS), le préfet de Région et la Région Normandie, le PRSE3 comprend un certain nombre d'actions du PNSE3 déclinées au niveau régional, en adéquation avec les priorités locales, mais également des actions issues de problématiques spécifiques propres aux territoires normands. Au total, les objectifs du PRSE3 se déclinent autour de 5 axes transversaux qui sont :

- Axe 1 - Agir localement pour un environnement favorable à la santé pour tous
- Axe 2 - Améliorer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et littorale
- Axe 3 - Agir pour des bâtiments et un habitat sains
- Axe 4 - Limiter l'exposition à la pollution de l'environnement extérieur et aux espèces nuisibles à la santé humaine
- Axe 5 - Mieux observer, former et informer pour agir ensemble pour un environnement sain

Parmi les 16 objectifs retenus, les suivants présentent un lien direct ou indirect avec la qualité de l'air :

- Améliorer la qualité de l'air extérieur et limiter son impact sur la santé
- Prévenir les effets sanitaires liés aux espèces animales et végétales nuisibles à la santé humaine
- Renforcer la connaissance et l'information et réduire l'exposition des populations aux sols pollués
- Réduire les risques pour la santé liés à l'environnement intérieur dans les bâtiments existants
- Promouvoir un logement et des environnements intérieurs favorables à la santé dans les constructions neuves et les rénovations
- Prévenir les expositions des publics sensibles à l'environnement intérieur
- Renforcer les compétences en santé environnement des décideurs, acteurs au niveau local et des professionnels de santé
- Faciliter l'information des citoyens - Renforcer l'information, la formation et l'éducation des publics sensibles

Le **Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de Basse-Normandie** actuellement en vigueur a été approuvé le 26 septembre 2013 par délibération du Conseil Régional puis adopté par arrêté préfectoral le 30 décembre 2013. Il fixe à moyen et long terme 40 orientations stratégiques pour le territoire régional en matière de réduction des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre, d'amélioration de la qualité de l'air, de développement des énergies renouvelables et d'adaptation aux effets du changement climatique. Les orientations régionales en matière de qualité de l'air définies dans le SCRAE intègrent les 4 précédents objectifs du Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA) :

- Améliorer et diffuser la connaissance de la thématique « qualité de l'air » à l'ensemble du territoire, en particulier sur les communes en zone sensible
- Améliorer et diffuser la connaissance sur l'impact de l'utilisation de phytosanitaires sur la qualité de l'air
- Réduire les pratiques de brûlage en Basse-Normandie
- Mieux informer sur la radioactivité dans l'air

Les orientations concernant les autres thématiques du SRCAE contiennent également des synergies en lien avec l'amélioration de la qualité de l'air (agriculture, industrie…) :

- Penser tout projet d'aménagement d'infrastructures ou d'équipement sous l'angle « développement durable » (maîtrise des consommations, d'énergie, limitation des émissions...)
- Maîtriser les consommations d'énergie et réduire la pollution atmosphérique par le développement de la connaissance des acteurs industriels et la mise en œuvre des bonnes pratiques et meilleures technologies existantes.
- Sensibiliser les acteurs de la filière agricole pour mettre en œuvre des pratiques adaptées en matière de qualité de l'air, d'émissions de gaz à effet de serre, de séquestration de carbone et d'adaptation aux effets du changement climatique.
- Rationaliser l'utilisation des intrants (notamment les fertilisants minéraux) afin de réduire les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre.
- Consolider et développer la filière bois-énergie existante et privilégier le développement d'installations industrielles et collectives de production de chaleur en préservant la qualité de l'air.

Le **Plan de Déplacement Urbains (PDU)** actuellement en vigueur sur le territoire de Caen la mer, approuvé le 19 novembre 2013, est un document de planification stratégique obligatoire, conformément aux dispositions de l'article L. 1214-1 du Code des Transports. Le PDU détermine les principes régissant l'organisation du transport de personnes et de marchandises, la circulation et le stationnement dans le périmètre des transports urbains qui recouvre 29 communes dont la zone du projet.

Le plan d'actions du PDU est structuré en 6 axes principaux :

- Axe n°1 : un développement urbain orienté vers une mobilité plus éco-responsable.
- Axe n°2 : un système de transports collectifs performant et intermodal
- Axe n°3 : le stationnement, levier d'une politique de transport cohérente
- Axe n°4 : un usage intelligent de la voiture
- Axe n°5 : une voirie pour tous
- Axe n°6 : le vélo, un mode de déplacement à part entière

Autour de 6 axes structurants, 16 actions sont réparties et subdivisées en 52 mesures à mettre en œuvre à l'horizon 2018 :

- Faire la ville autour des transports collectifs
- Favoriser les déplacements courts en modes actifs
- Structurer le réseau au moyen de transports en commun en site propre
- Améliorer le réseau de bus
- Faciliter l'intermodalité
- Sauvegarder le foncier ferroviaire
- Encadrer le stationnement privé
- Réguler le stationnement public
- Répondre à des besoins de stationnement spécifiques
- Maîtriser les investissements routiers
- Optimiser le réseau existant
- Favoriser un usage raisonné de la voiture
- Restructurer les entrées de ville
- Favoriser les modes actifs
- Devenir une agglomération accueillante pour les vélos
- Soutenir la pratique du vélo

II.5.3) Les plans à l'échelle locale

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 du regroupement communal Caen Normandie Métropole** (qui comprend 144 communes dont la ville de Caen dans laquelle se situe l'opération d'aménagement) a été approuvé par le comité syndical le 16 juin 2023. Le programme d'actions s'articule autour des 8 axes stratégiques suivants :

- Promouvoir un modèle de développement humain économe en énergie, sobre en ressources et équitable dans la répartition des efforts entre individus et entre territoires
- Promouvoir un développement équilibré et solidaire des énergies renouvelables
- Mobiliser les acteurs autour d'un plan au long cours de séquestration du carbone
- Améliorer la qualité de l'air extérieur et intérieur
- Observer et comprendre les phénomènes à l'œuvre, déterminer les vulnérabilités et partager la culture du risque
- Adapter la configuration spatiale du territoire pour limiter les dommages et augmenter la résilience
- S'allier à la nature et compter sur les services écosystémiques que rend la biodiversité
- Mettre en place une gouvernance efficace, adaptée à la hauteur des enjeux

Au total, 65 actions découlent directement de ces 8 axes dont les suivantes ont un impact direct ou indirect sur la qualité de l'air :

- Mettre en place des opérations globales de rénovation énergétique des logements du parc privé
- Mettre en œuvre les politiques cyclables du territoire
- Favoriser la multimodalité par l'intermodalité
- Renforcer l'offre de transports collectifs structurants sur le territoire
- Sensibiliser le grand public, les entreprises et les institutions à la décarbonation des mobilités
- Favoriser la proximité
- Organiser et optimiser le stationnement en milieu urbain
- Réduire et décarboner les transports de marchandises (longue et moyenne distances)
- Optimiser et décarboner la logistique du dernier kilomètre
- Diversifier la production alimentaire locale, fondée sur les principes de l'agriculture durable
- Renforcer l'efficacité énergétique des modes de production
- Étendre, optimiser et verdir les réseaux de chaleur existants
- Créer de nouveaux réseaux de chaleur
- Développer les dispositifs de captation de l'énergie thermique atmosphérique ou géologique
- Augmenter la consommation de bois énergie et améliorer son efficacité
- Réduire les émissions de particules fines générées par les particuliers
- Réduire les émissions de polluants atmosphériques dans le secteur industriel
- Réduire les émissions de polluants atmosphériques dans le secteur artisanal
- Réduire les émissions de polluants atmosphériques dans le secteur agricole
- Sensibiliser à la qualité de l'air intérieur et à la dangerosité de certains produits
- Prévenir l'exposition des populations aux pollutions de l'air grâce à un urbanisme durable
- Mettre en œuvre un aménagement du territoire favorable à la qualité de l'air
- Désimperméabiliser et végétaliser les milieux urbains

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

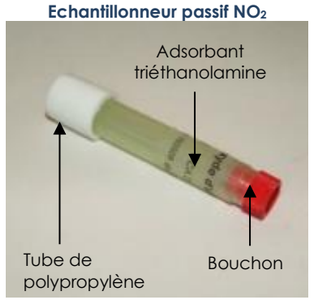
Les mesures du dioxyde d'azote (NO_2) sont réalisées par capteurs à diffusion passive, conformément à la norme NF EN 16339[2]. Le principe du prélèvement est celui de la diffusion naturelle de l'air à travers une cartouche contenant un adsorbant spécifique au NO_2 (triéthanolamine). Le débit de diffusion 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), l'échantillonnage est établi pour :

- **5 points de mesure 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.

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

N°	Typologie	Polluant(s) mesuré(s)	Localisation
P1	Trafic	NO_2	Boulevard Jean Moulin
P2	Fond urbain	NO_2	Rue des Potiers – Proximité Bd Jean Moulin
P3	Fond urbain	NO_2	Rue des Luthiers
P4	Fond urbain	NO_2	Rue des Potiers
P5	Trafic	NO_2	Boulevard Maréchal Juin

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 **11 septembre 2023 au 25 septembre 2023**.

[2] 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 Caen-Carpiquet (14) :

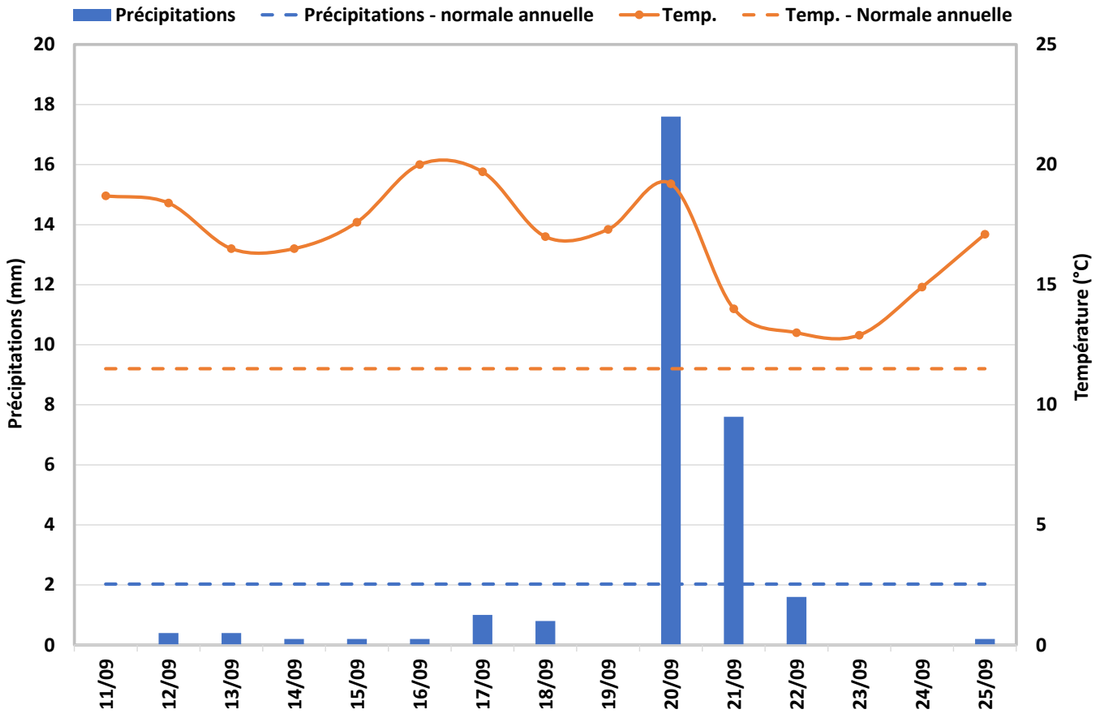


Figure 11 : étude des températures et précipitations (données : Météo France)

Les températures relevées lors de la campagne de mesure sont supérieures à la normale (16,9 °C en moyenne durant la période contre 11,5 °C pour la normale), indiquant des conditions propices à une diminution des concentrations en NO_2 par rapport à la moyenne annuelle. Les précipitations sont représentatives des normales ce qui n'indique pas d'impact significatif de ce paramètre sur les concentrations en polluants durant la campagne.

- Conditions de vent

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

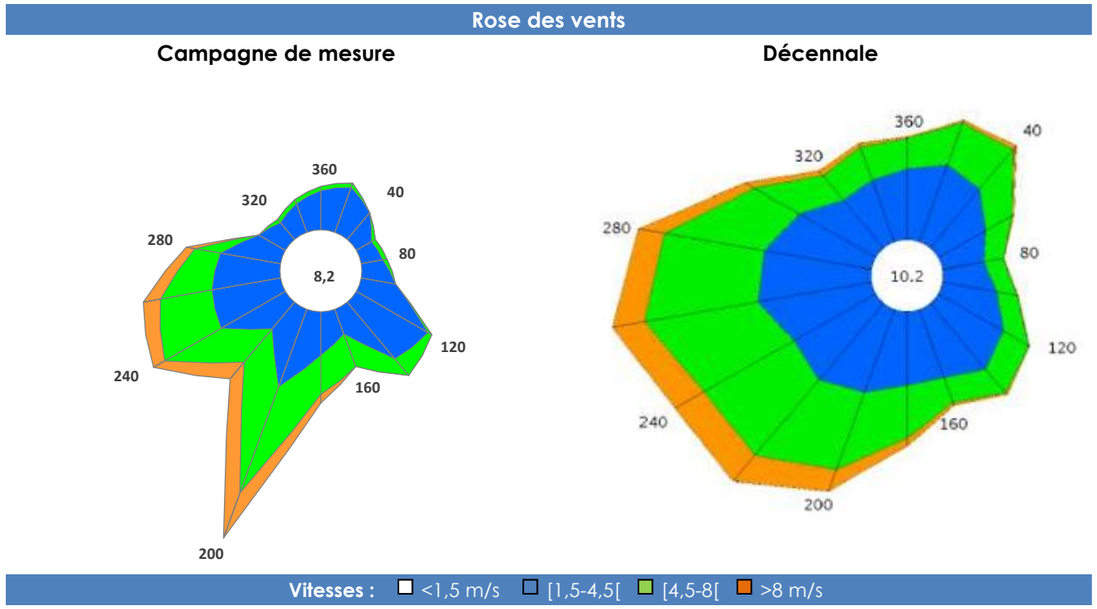


Figure 12 : étude des conditions de vent (données : Météo France)

La rose des vents est caractérisée par des axes sud-ouest et ouest majoritaires compris dans les normales (cf. paragraphe II.3.3). Ces directions indiquent un impact potentiel plus important en direction des zones situées au nord et à l'est des axes routiers les plus polluants. Les vitesses de vents relevées pendant la campagne sont proches des normales (8 % des vents sont inférieurs à 1,5 m/s contre 10 %), ce qui indique de bonnes conditions de dispersion et ne met pas en évidence de stagnation de la pollution dans la zone du projet au cours de la période de mesure.

III.3.2) Conditions de pollution atmosphérique

Les concentrations en NO_2 enregistrées par Atmo Normandie au niveau de la station Caen Chemin Vert sur l'année 2022 et la campagne de mesure sont comparées dans le tableau ci-dessous :

Station *Typologie*	**Polluant**	**Moyenne Campagne (µg/m³)**	**Moyenne Année 2022 (µg/m³)**	**Ecart (%) Campagne / 2022**
Caen Chemin Vert *Fond urbain*	NO_2	12,9	11,6	11 %

Tableau 7 : étude des données Atmo Normandie

Malgré les conditions estivales et de dispersion au cours de la campagne, les conditions de circulation entrainent des teneurs en NO_2 légèrement plus fortes que la moyenne annuelle de l'année précédente (+ 11 %) en typologie 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[3] 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	9,4 µg/m³
Ecart standard du doublet	1,5 %
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 réalisé au niveau du point P4 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
Typologie	T	F	F	F	T
NO_2	18,0	9,3	9,5	9,4	15,6

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 faibles à modérées (inférieures à 20 µg/m³). Les points de trafic P1 et P5, situé respectivement boulevard Jean Moulin et boulevard Maréchal Juin, présentent les concentrations les plus élevées, avec des valeurs supérieures à 15 µg/m³, ce qui s'explique par la densité de circulation, notamment en heures de pointe, au niveau des ces axes. Les points de fond urbain (P2, P3 P4), situés en zones résidentielles enregistrent des concentrations plus faibles (inférieures à 10 µg/m³).

[3] 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

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[4] et que les projets d'aménagement ne sont pas soumis au respect de ce type de valeurs[5].

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).

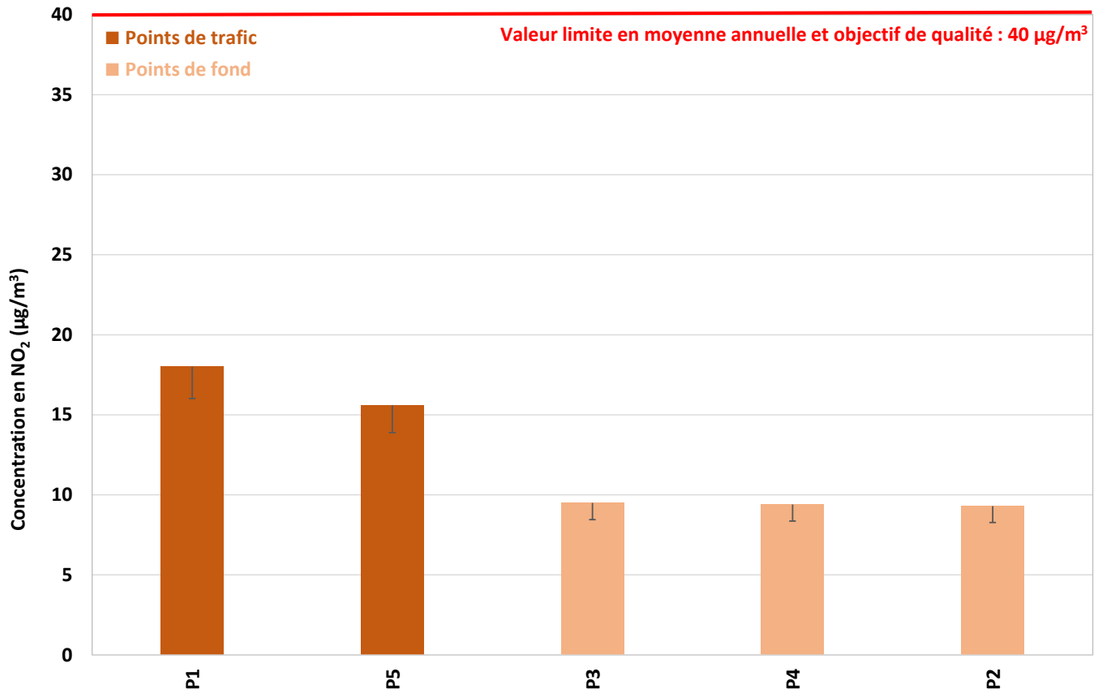


Figure 14 : comparaison des résultats des mesures NO_2 à la réglementation

La distribution des concentrations est cohérente avec la typologie des points de mesure. Aucun point ne présente de concentration supérieure à 40 µg/m³. Par ailleurs, la campagne de mesure se caractérise par des teneurs en NO_2 plus fortes d'environ 11 % par rapport à la moyenne de l'année précédente. Dans ce contexte, les faibles valeurs mesurées ne laissent envisager aucun dépassement à l'échelle annuelle quel que soit la typologie du point de mesure.

[4] 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.

[5] 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) Scénarios considérés

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

- Actuel (2023)
- Futur sans projet (2040)
- Futur avec projet (2040)

IV.1.3) Données de trafic

Les hypothèses suivantes sont prises par Rincent Air pour compléter les données issues de l'étude de circulation fournie par le bureau d'étude Ingetec en novembre 2023 « Caen – Folie Couvre-Chef – Diagnostics Mobilités » :

- En l'absence de scénario « futur sans projet » les données de trafic utilisées sont reprises de celles du scénario « actuel ».

- La vitesse de circulation de tous les véhicules est considérée égale à la vitesse maximale autorisée sur chaque axe routier.

- En l'absence de données TMJA du boulevard Jean Moulin pour le scénario « futur avec projet », le ratio calculé entre les HPM/HPS et les TMJA pour le scénario « état actuel » est utilisé.

- En l'absence de données TMJA sur les autres axes routiers à proximité du projet, les comptages réalisées en 2019 par Ingetec dans le cadre du projet de la ZAC Mont Coco, situé à quelques dizaines de mètres du projet de la Folie Couvre-Chef, sont repris. Par ailleurs, étant donné l'impact négligeable sur le projet, les données de trafic sont considérées égales entre les 3 scénarios.

Le tableau 10 présente l'ensemble des données de trafic considérées :

N°	Axe routier	Scénario « Actuel » 2023		Horizon « Sans projet » 2040		Horizon « Avec projet » 2040		Vitesse moyenne
		TMJA	%PL	TMJA	%PL	TMJA	%PL	km/h
1	Boulevard Jean Moulin	8 450	0,5%	8 450	0,5%	16 028	0,5%	70
2	Boulevard Maréchal Juin	15 825	2,2%	15 825	2,2%	15 825	2,2%	50
3	Rue des Vaux de la Folie	5 860	2,5%	5 860	2,5%	5 860	2,5%	50
4	Rue Jacques Brel	23 645	3,2%	23 645	3,2%	23 645	3,2%	50
5	Rue Colbert	11 600	1,5%	11 600	1,5%	11 600	1,5%	50
6	Rue de la Girafe	4 380	1,4%	4 380	1,4%	4 380	1,4%	50

Tableau 10 : données de trafic

IV.1.4) 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**.

IV.1.5) 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.1.6) Bande d'étude

Les données de trafic permettent de définir la bande d'étude conformément au tableau 11 :

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

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

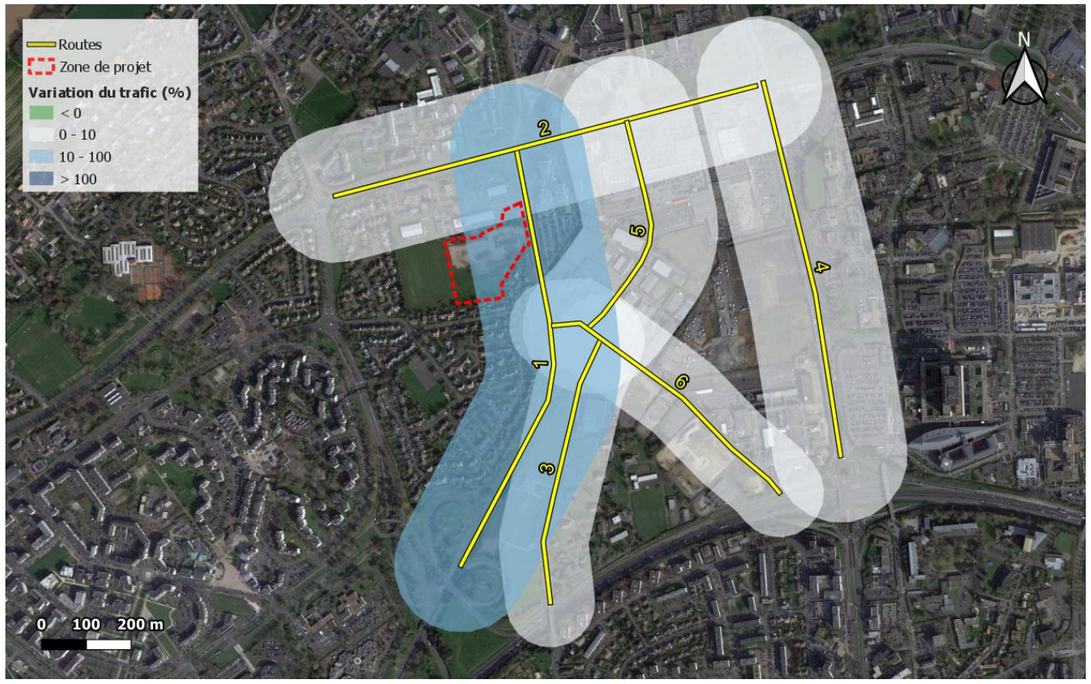


Figure 15 : bande d'étude

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	18,8	12,0	-36%	13,0	-31%	8%
Benzène	g/j	25,6	8,3	-67%	8,7	-66%	5%
Benzo[a]pyrène	g/j	0,0	0,0	-45%	0,0	-37%	13%
Arsenic	g/j	0,0	0,0	11%	0,0	24%	12%
SO_2	kg/j	0,1	0,2	19%	0,2	33%	12%
Nickel	g/j	0,0	0,0	27%	0,0	42%	12%
COVNM	kg/j	0,6	0,4	-37%	0,4	-35%	4%
NO_X	kg/j	16,4	5,2	-68%	5,8	-65%	11%
$PM_{2.5}$	kg/j	1,2	0,9	-28%	1,0	-20%	11%
PM_{10}	kg/j	1,8	1,5	-19%	1,6	-10%	11%

Tableau 12 : 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	2,9	2,7	-8%	3,0	3%	11%
CO_2	t/j	9,3	8,6	-8%	9,5	2%	11%
N_2O	t/j	0,5	0,3	-29%	0,4	-24%	7%
CH_4	t/j	0,2	0,1	-30%	0,2	-22%	11%

Tableau 13 : bilan des émissions de GES

Une baisse globale des émissions de PES peut être constatée entre le scénario actuel et le scénario futur sans projet (environ -16 %). Celle-ci s'explique par les hypothèses de mise en circulation de véhicules moins polluants entre 2023 et 2040 sur la base des données IFSTTAR.

La variation du trafic routier dans la zone d'étude entre le scénario sans projet et le scénario avec projet entraine une hausse de l'ensemble des émissions comprise entre 4 et 12 % (augmentation de 11 % pour les NO_X et le CO_2). Celle-ci est principalement due à l'augmentation de trafic au niveau du boulevard Jean Moulin, permettant les accès au projet.

Globalement le scénario avec projet entraîne une augmentation d'environ 10 % des émissions polluantes par rapport au scénario sans projet à l'horizon 2040.

IV.2.2) Cartographie des émissions

En retenant les NO_x comme les polluants les plus représentatifs de la pollution routière, les figures suivantes permettent de visualiser les émissions en gramme par jour et par mètre pour chaque scénario :

Figure 16 : émissions de NO_X – scénario actuel

Figure 17 : émissions de NO_X – scénario futur sans projet

Figure 18 : émissions de NO_X – scénario futur avec projet

IV.2.3) Etude des variations liées au projet

La figure suivante présente les variations des émissions de NOx entre les scénarios avec et sans projet à l'horizon 2040 :

Figure 19 : variation émissions de NO_X avec / sans projet

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs numériques des émissions de NOx par jour et par mètre sur chaque axe :

N°	Brin routier	Emissions de NOx (g/j/m)			Variation Futur avec/sans projet (%)
		Actuel	Sans projet	Avec projet	
1	Bd Jean Moulin	2,1	0,7	1,3	**90 %**
2	Bd Maréchal Juin	4,7	1,5	1,5	**0 %**
3	Rue des Vaux de la Folie	1,8	0,6	0,6	**0 %**
4	Rue Jacques Brel	7,4	2,3	2,3	**0 %**
5	Rue Colbert	3,3	1,1	1,1	**0 %**
6	Rue de la Girafe	1,2	0,4	0,4	**0 %**

Tableau 14 : récapitulatif des émissions de NOx par brins routiers

Les seules variations d'émissions de NOx sont observées sur le boulevard Jean Moulin avec environ 90 % d'augmentation. Les émissions associées sont cependant faibles : autour de 1 g/j/m à l'horizon 2040, soit environ 2 fois moins qu'à l'état actuel.

IV.4 Monétarisation des coûts

IV.4.1) 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 15 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 15 : 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 de Caen avec 4 200 habitants/km² (données Insee 2019). 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 2021. Entre 2010 et 2021, la moyenne annuelle de l'évolution du PIB par habitant est de 0,69 % en France selon les chiffres de la Banque Mondiale[6]. 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 2021 est de 0,85 % en moyenne annuelle d'après les statistiques du ministère de la Transition écologique et solidaire[7]. 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)[8].

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 (€)	34 915	8,5%	39 232	21,9%	39 232	21,9%
TMJA total du projet (véh/j)	65 380	11,4%	65 380	11,4%	72 958	25,1%
Emissions $PM_{2.5}$ + NO_X + COVNM + SO_2 (kg/j)	2,0	-53,3%	1,4	-66,4%	1,5	-63,2%
Evolution globale		-43,6%		-54,3%		-43,8%

Tableau 16 : 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 2023	2040 sans projet	2040 avec projet
Evolution globale depuis 2010	0,0%	-43,6%	-54,3%	-43,8%
Valeur tutélaire VP (€/100 véh.km)	3,1	1,7	1,4	1,7
Valeur tutélaire PL (€/100 véh.km)	37,0	20,9	16,9	20,8

Tableau 17 : 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 2023	2040 sans projet	2040 avec projet
Trafic VP (véh.km) /j	51 860	51 860	59 242
Trafic PL (véh.km) /j	1 192	1 192	1 229
Coût VP (€/j)	907	734	1 032
Coût PL (€/j)	249	201	255
Coût total (€/j)	**1156**	**935**	**1287**

Tableau 18 : coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique

Les coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique **augmentent d'environ 38 %** avec la mise en place du projet.

IV.4.2) 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[9]. 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 2023	2040 sans projet	2040 avec projet
Coût de la tonne de CO_2 (€/t)	173,7	500,0	500,0
CO_2 émis (t/j)	9,3	8,6	9,5
Coût CO_2 émis (€/j)	**1615,6**	**4277,7**	**4766,6**

Tableau 19 : coûts collectifs liés à l'effet de serre

La mise en place du projet entraîne **une augmentation d'environ 11 %** des coûts collectifs liés à l'effet de serre par rapport à la situation sans projet.

[6] La Banque Mondiale. Croissance du PIB par habitant entre 2010 et 2019.
[7] Service de la donnée et des études statistiques. Développement Durable. Données sur le parc des véhicules au 1er janvier 2020.
[8] 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™.
[9] 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 15 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 (2022) acquises auprès de la station Météo France de Caen Carpiquet (14). La figure 20 présente la rose des vents des données utilisées. La rose des vents est majoritairement caractérisée par des secteurs sud-ouest et sud.

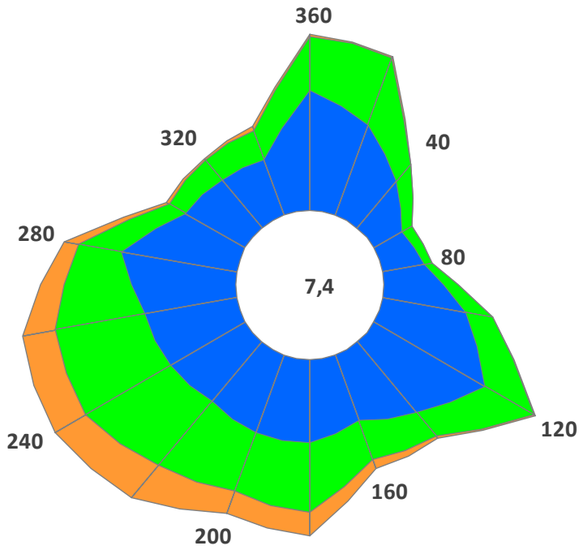


Figure 20 : rose des vents utilisée pour la modélisation

V.1.4) Topographie

La topographie est issue d'une extraction puis d'une interpolation des fichiers SRTM NASA avec une résolution de 25 m. Ce dernier est mis à jour à partir des relevés obtenus par LIDAR aéroporté ou par corrélation d'images aériennes.

La figure 21 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 21 : 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 septembre 2023, rationnalisée par rapport à la moyenne annuelle (ratio campagne / moyenne 2022 de la station Atmo Normandie la plus proche : Caen Chemin Vert)
Benzène PM_{10} $PM_{2.5}$	Moyenne des concentrations annuelles des trois dernières années de la station Atmo Normandie la plus proche présentant ce type de données (stations Caen Chemin Vert et Caen Vaucelles)
3 ETM 16 HAP 1,3 butadiène	Médiane des concentrations de fond en France d'après la base de données Ineris[10] 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[11]

Tableau 20 : 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	8,5	Anthracène	0,0003	Dibenzo(a,h)anthracène	0,00004
Particules PM_{10}	14,5	Benzo(a)anthracène	0,0002	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,0003
Particules $PM_{2.5}$	9,2	Benzo(a)pyrène	0,0004	Acénaphtène	0,0003
Benzène	0,6	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 21 : concentrations de fond utilisées

[10] 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.

[11] 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 :

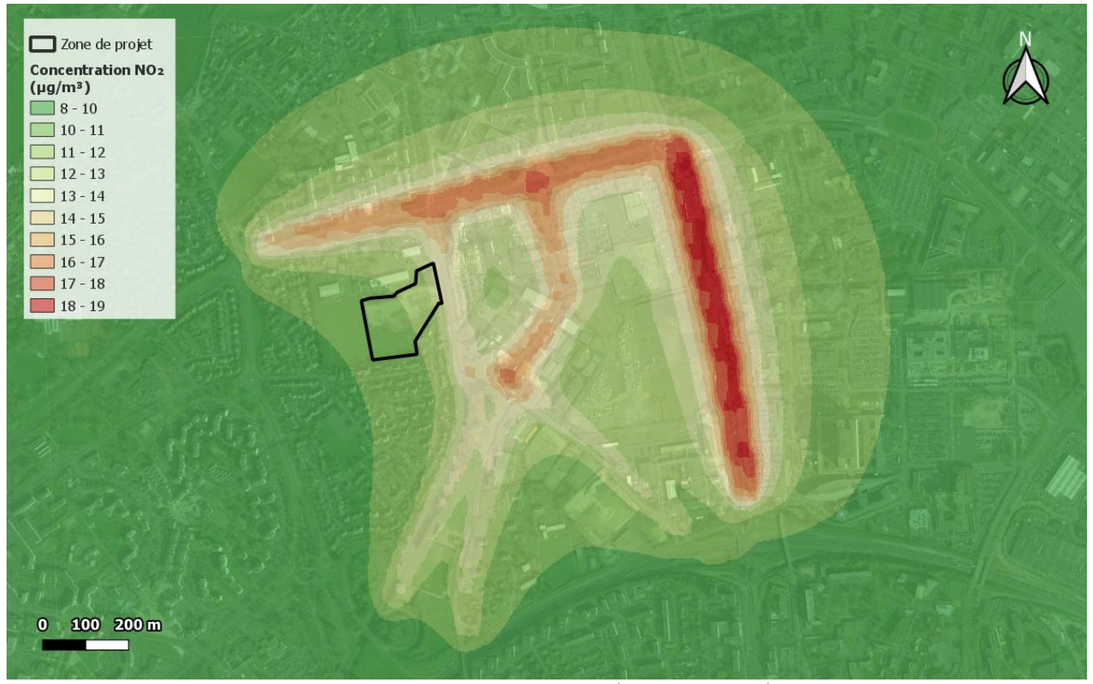


Figure 22 : concentration moyenne journalière en NO_2 – scénario actuel

Figure 23 : concentration moyenne journalière en NO_2 – scénario futur sans projet

Figure 24 : concentration future moyenne journalière en NO_2 – futur avec projet

V.2.2) Variation des concentrations

Figure 25 : variation des concentrations en NO_2 entre le scénario futur sans projet et avec projet

A l'horizon 2040, les variations observées entre les scénarios avec et sans projet sont localisées le long du boulevard Jean Moulin, qui subit la seule augmentation de circulation dans la zone d'étude en lien avec les dessertes du projet. Ces variations restent cependant faibles : au maximum 10 % au centre de la voie.

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 (2023)**	**Futur (2040) sans projet**	**Futur (2040) avec projet**	**Futur avec/ sans projet**	**Actuel / futur avec projet**
Moyenne annuelle	11,8	9,6	9,7	**1,4%**	**-17,8%**
Point le plus exposé	19,2	12,2	12,2	**0,3%**	**-36,4%**
Point le moins exposé	8,9	8,6	8,7	**0,4%**	**-2,5%**
Accès véhicules bd Jean Moulin	12,16	9,68	10,25	**5,91%**	**-15,70%**
Espace public central	10,34	9,09	9,25	**1,80%**	**-10,55%**
Façade Est Lotissement 9	10,52	9,14	9,37	**2,42%**	**-10,93%**
Façade Est Lotissement 1	11,91	9,60	10,07	**4,92%**	**-15,48%**

Tableau 22 : concentrations moyennes en NO_2 sur les points d'intérêt

En moyenne sur la bande d'étude du projet, une faible variation des concentrations de NO_2 est constatée entre les scénarios sans et avec projet (+1,4 %). Les points d'exposition minimale et maximale dans la bande d'étude présentent des variations non significatives (< 0,5 %).

Au droit des différentes points d'intérêts recensés, une augmentation des concentrations est observée au niveau de l'accès depuis le boulevard Jean Moulin (+5,9 %). Par ailleurs, les façades Est des lotissements 1 et 9 sont associées à des augmentations de concentrations de respectivement 4,9 et 2,4 %. Enfin l'espace public central, situé en cœur de zone, est impacté plus faiblement par le projet (+1,8 %), du fait de l'éloignement de cet espace vert par rapport au boulevard Jean Moulin.

Globalement, à l'horizon 2040, la mise en service du projet induit donc une variation très faible (< 10 %) des concentrations en NO_2 au droit des différents points d'intérêts localisés dans la bande d'étude par rapport au scénario futur sans projet.

Enfin, les concentrations modélisées montrent une diminution de 18 % en moyenne dans la bande d'étude entre le scénario futur (2040) avec projet et le scénario actuel (2023). De même, une amélioration significative de la qualité de l'air (comprise entre -10 et - 16 %) est observée sur tous points d'intérêt entre le scénario actuel et le scénario avec projet.

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 (2015) 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 le scénario actuel et le scénario futur sans projet est considérée comme identique. Pour le scénario futur avec projet, la population est complétée par le nombre d'habitants supplémentaires au droit du projet.

A l'horizon 2040, il est prévu que le projet accueille 10 ilots constitués de différents types d'habitation, de la maison individuelle au logement collectif R+4. Au total, il est attendu 188 logements pour une estimation de 338 habitants, d'après le ratio de 1,8 hab./logement de la ville de Caen (source : INSEE 2020). Cette population supplémentaire est attribuée de façon proportionnelle dans les bâtiments à usage de logement prévus par le projet d'après le plan de masse fourni.

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

	Scénario 2023 Actuel	Scénario 2040 Sans projet	Scénario 2040 Avec projet	Delta 2040 avec/sans projet
IPP NO_2	0,5	0,5	0,7	**39%**

Tableau 23 : IPP selon les scénarios considérés

A l'horizon 2040, le projet entraine une **augmentation de l'IPP dans la bande d'étude d'environ 39 %**. Etant donné la faible variation des concentrations entre les scénarios futurs avec et sans projet, cette augmentation peut être imputée très majoritairement à celle de la population due à la création de résidences sur des parcelles vierges.

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 %.

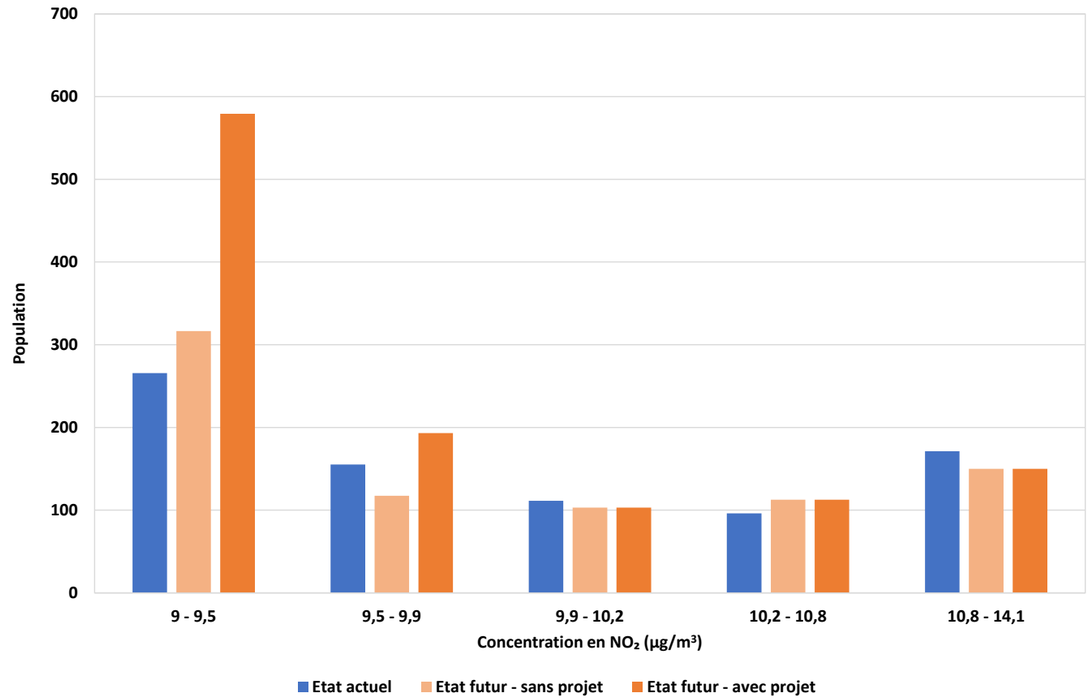


Figure 26 : histogrammes de distribution concentration/population pour le NO_2

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 10,8 µg/m³). Globalement, à l'horizon 2040, le projet entraîne une augmentation du nombre d'habitants exposés aux classes de concentrations les plus faibles et l'absence de variation du nombre d'habitants exposés aux classes de concentrations les plus fortes par rapport au scénario sans projet.

L'ensemble de la population reste exposé à des concentrations en NO_2 inférieures à la valeur réglementaire (40 µg/m³ en moyenne annuelle) pour tous les scénarios.

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.

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

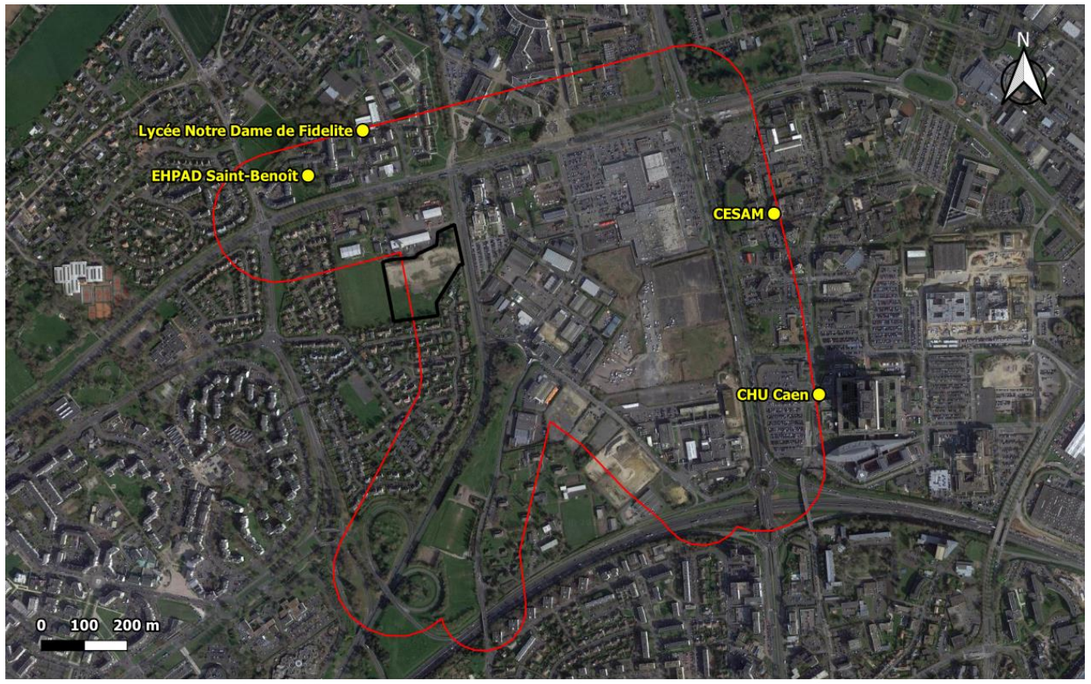


Figure 27 : localisation des sites vulnérables dans la bande d'étude

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 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 24 : 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)[12]
Résidentiel	0,67 (16h/jour)[13]	1

Tableau 25 : 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)
Arsenic	**1,50E-02**	Cerveau	OEHHA (2008)
Benzo(a)pyrène	**2,00E-03**	Fœtus	US-EPA (2017)
Naphtalène	**3,70E+01**		ANSES (2013)

Tableau 26 : 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 sur chaque site :

Site vulnérable		EHPAD Saint-Benoît		Lycée Fidélité		CESAM		CHU Caen	
Organe cible	Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Immunitaire	Benzène	1,39E-02	1,39E-02	1,39E-02	1,39E-02	1,39E-02	1,39E-02	1,39E-02	1,39E-02
Reproducteur	1,3-butadiène	2,33E-02	2,33E-02	2,32E-02	2,32E-02	2,33E-02	2,33E-02	2,33E-02	2,33E-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	Benzo(a)pyrène	4,69E-02	4,69E-02	4,67E-02	4,68E-02	4,70E-02	4,70E-02	4,68E-02	4,68E-02
Respiratoire	Chrome VI	4,35E-04	4,37E-04	4,28E-04	4,30E-04	4,40E-04	4,40E-04	4,30E-04	4,31E-04
	Nickel	5,15E-04	5,15E-04	5,15E-04	5,15E-04	5,15E-04	5,16E-04	5,15E-04	5,15E-04
	Naphtalène	5,21E-05	5,54E-05	4,33E-05	4,75E-05	5,79E-05	5,96E-05	4,40E-05	4,56E-05
	Total	1,00E-03	1,01E-03	9,86E-04	9,93E-04	1,01E-03	1,02E-03	9,88E-04	9,91E-04
Delta projet		**0,07%**		**0,08%**		**0,03%**		**0,03%**	

Tableau 27 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste

Le projet n'entraîne aucune variation significative de la somme des QD sur les 4 sites considérés. 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.

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

[13] 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[14]	
Etablissement de santé		0,0153 (séjour moyen de 5,6 par an)[15]	70	
Résidentiel	0,67 (16h/jour)[16]	1	16,7[17]	

Tableau 28 : 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	Substance	Valeur (µg/m³)$^{-1}$	Source
Particules PM_{10}	**2,10E-02**[18]	ANSES (2023)	Fluoranthène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
Particules $PM_{2.5}$	**1,28E-02**	ANSES (2023)	Phénanthrène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
Benzène	**2,60E-05**	ANSES (2014)	Pyrène	**6,00E-07**	INERIS (2018)
1,3 butadiène	**3,00E-05**	US EPA (2002)	Benzo(a)pyrène	**6,00E-04**	INERIS (2018)
Chrome VI	**4,00E-02**	IPCS (2013)	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	**1,20E-03**	INERIS (2018)
Nickel	**1,70E-04**	TCEQ (2011)	Benzo(a)anthracène	**6,00E-05**	INERIS (2018)
Arsenic	**1,50E-04**	TCEQ (2012)	Benzo(b)fluoranthène	**6,00E-05**	INERIS (2018)
Naphtalène	**5,60E-06**	INERIS (2018)	Benzo(k)fluoranthène	**6,00E-05**	INERIS (2018)
Acénaphtène	**6,00E-07**	INERIS (2018)	Benzo(ghi)pérylène	**6,00E-06**	INERIS (2018)
Acénaphtylène	**6,00E-07**	INERIS (2018)	Chrysène	**6,00E-06**	INERIS (2018)
Anthracène	**6,00E-06**	INERIS (2018)	Dibenzo(a,h)anthracène	**6,00E-04**	INERIS (2018)
Fluorène	**6,00E-07**	INERIS (2018)			

Tableau 29 : 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

L'évaluation du risque sanitaire pour les substances à effets sans seuils est réalisée d'après le calcul d'un **excès de risque individuel (ERI)**, correspondant à la probabilité de survenue d'une pathologie pour les individus exposés pour chaque scénario, d'après la formule **ERI = CI_{SS} x VTR**.

Site vulnérable	EHPAD Saint-Benoît		Lycée Fidélité		CESAM		CHU Caen	
Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
PM_{10}	2,95E-03	2,95E-03	2,94E-03	2,94E-03	2,96E-03	2,96E-03	2,94E-03	2,94E-03
$PM_{2.5}$	1,19E-03	1,19E-03	1,18E-03	1,18E-03	1,19E-03	1,19E-03	1,18E-03	1,18E-03
Benzène	1,55E-07	1,55E-07	1,55E-07	1,55E-07	1,55E-07	1,55E-07	1,55E-07	1,55E-07
1,3 butadiène	5,98E-08	5,98E-08	5,97E-08	5,97E-08	6,00E-08	6,00E-08	5,98E-08	5,98E-08
Chrome VI	2,24E-08	2,25E-08	2,20E-08	2,21E-08	2,26E-08	2,27E-08	2,21E-08	2,21E-08
Nickel	3,38E-10	3,38E-10	3,37E-10	3,38E-10	3,38E-10	3,38E-10	3,38E-10	3,38E-10
Arsenic	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10	7,42E-10
Naphtalène	2,70E-08	4,92E-10	3,84E-10	4,22E-10	5,15E-10	5,29E-10	3,90E-10	4,05E-10
Acénaphtène	1,81E-11	2,08E-12	2,01E-12	2,04E-12	2,09E-12	2,10E-12	2,02E-12	2,02E-12
Acénaphtylène	1,40E-11	2,00E-12	1,95E-12	1,97E-12	2,01E-12	2,02E-12	1,96E-12	1,96E-12
Anthracène	1,23E-10	1,97E-11	1,93E-11	1,94E-11	1,98E-11	1,99E-11	1,93E-11	1,94E-11
Fluorène	1,34E-11	8,98E-12	8,96E-12	8,97E-12	8,99E-12	8,99E-12	8,97E-12	8,97E-12
Fluoranthène	1,09E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11	1,07E-11
Phénanthrène	3,07E-11	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11	3,03E-11
Pyrène	7,83E-12	7,73E-12	7,73E-12	7,73E-12	7,73E-12	7,73E-12	7,73E-12	7,73E-12
Benzo(a)pyrène	2,41E-09	2,41E-09	2,40E-09	2,41E-09	2,42E-09	2,42E-09	2,40E-09	2,41E-09
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	9,67E-09	9,67E-09	9,65E-09	9,66E-09	9,68E-09	9,68E-09	9,65E-09	9,66E-09
Benzo(a)anthracène	5,01E-10	5,02E-10	5,00E-10	5,00E-10	5,02E-10	5,02E-10	5,00E-10	5,00E-10
Benzo(b)fluoranthène	5,81E-10	5,82E-10	5,80E-10	5,81E-10	5,82E-10	5,82E-10	5,80E-10	5,81E-10
Benzo(k)fluoranthène	3,73E-10	3,73E-10	3,72E-10	3,72E-10	3,73E-10	3,74E-10	3,72E-10	3,72E-10
Benzo(ghi)pérylène	8,17E-11	8,17E-11	8,15E-11	8,16E-11	8,18E-11	8,18E-11	8,15E-11	8,15E-11
Chrysène	8,71E-11	8,72E-11	8,69E-11	8,70E-11	8,72E-11	8,72E-11	8,69E-11	8,70E-11
Dibenzo(a,h)anthracène	5,77E-10	5,78E-10	5,76E-10	5,77E-10	5,78E-10	5,78E-10	5,76E-10	5,77E-10
Total	4,14E-03	4,14E-03	4,12E-03	4,12E-03	4,15E-03	4,15E-03	4,12E-03	4,12E-03
Delta projet	0,10%		0,13%		0,05%		0,04%	

Tableau 30 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste

Le projet entraîne une variation non significative des ERI sur 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 vulnérables exposés. 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).

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

[18] 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.

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 31 : 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

Site vulnérable			EHPAD Saint-Benoît		Lycée Fidélité		CESAM		CHU Caen		Valeur guide OMS 2021 (µg/m³)	Valeur limite de protection pour la santé (µg/m³)
Risque	Durée	Polluant	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet		
Chr.	1 an	NO_2	9,4	9,4	9,2	9,3	9,5	9,6	9,3	9,3	10	40
Aigu	1 h	NO_2	28,2	28,2	21,9	22,1	24,6	24,8	22,7	22,5	200	200
	24 h	NO_2	13,8	14,1	12,4	12,9	14,3	14,4	12,8	13,0	25	-

Tableau 32 : comparaison des concentrations aux valeurs guides et réglementaires

La mise en service du projet entraîne de très faibles variations des concentrations en NO_2 estimées au droit de chaque site vulnérable.

Concernant le risque chronique, **aucun dépassement des recommandations OMS** (10 µg/m³) **ni de la valeur réglementaire** (40 µg/m³) n'est observé.

Comme pour le risque chronique, **aucun dépassement des valeurs réglementaires et OMS n'est observé pour le risque aigu.**

VI.5 Incertitudes associées à l'évaluation des risques sanitaires

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[19] 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[20]. 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.

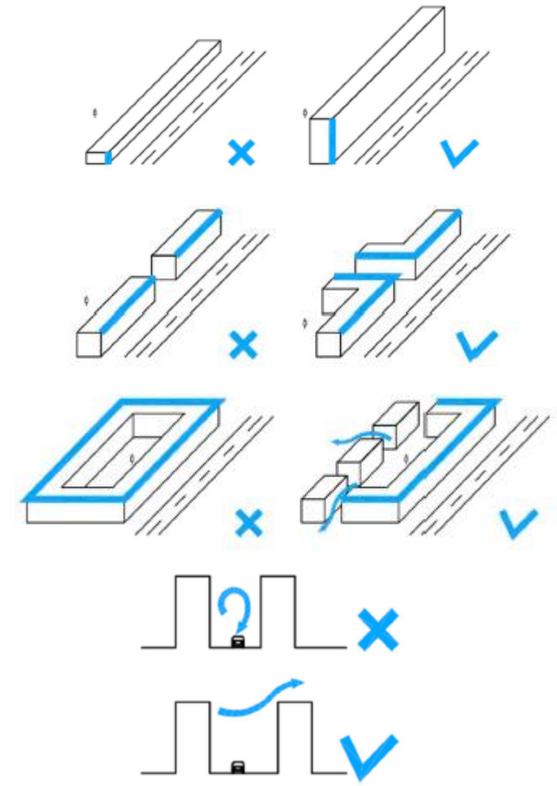


Figure 28 : recommandations générales d'aménagements favorisant la dispersion de polluants

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.

[19] 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.

[20] 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 :

- 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 :

- La densité de circulation au niveau des boulevards Maréchal Juin au nord et Jean Moulin à l'est, constitue la principale source d'émissions polluantes à l'échelle locale, notamment pour le NO_2 et les particules fines. Par ailleurs, aucun site industriel émetteur de polluant atmosphérique n'est recensé dans un rayon de 5 km autour de la zone de 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. Une campagne de mesure in-situ est néanmoins réalisée afin d'étudier plus précisément la répartition locale des concentrations en NO_2, principal polluant émis par le trafic routier.

- Le projet se situe dans une zone où la densité de population est modérée voire faible. Parmi les sites vulnérables vis-à-vis de la qualité de l'air (crèches, établissements scolaires, EHPAD) recensés dans la zone d'étude, certains nécessitent la réalisation d'une étude des risques sanitaires dans le cadre de l'estimation des effets du 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 et PDU à l'échelle régionale, PCAET intercommunal 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), au niveau du projet. Cette campagne de mesure, effectuée du 11 au 25 septembre 2023, se caractérise par conditions météorologiques entraînant des concentrations en NO_2 plus fortes que la moyenne de l'année précédente (11 %). En ramenant ces conditions à une situation moyenne annuelle, les résultats n'indiquent aucun dépassement potentiel de la valeur limite pour le NO_2, 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 augmentation des émissions est constatée sur l'ensemble des polluants entre le scénario futur sans projet et le scénario futur avec projet (+ 10 % en moyenne). Cependant entre le scénario « actuel » et le scénario « futur avec projet », une baisse des émissions de plusieurs polluants (NO_X, CO, COV, benzène) peut être constatée. Cette baisse est liée à l'évolution du parc routier (mise en circulation de véhicules moins polluants) projetée à l'état futur.

- Le scénario « futur avec projet » entraîne une augmentation significative (90 %) des émissions de NO_X sur le boulevard Jean Moulin qui dessert le projet. Les valeurs d'émissions restent faibles (1 g/j/m) sur cet axe.

- Le scénario « futur avec projet » entraîne une augmentation des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique et à l'effet de serre de respectivement 38 % et 11 % par rapport au scénario « futur sans projet ».

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

- En lien avec les émissions de polluants, le projet entraine une légère augmentation des concentrations en polluants en moyenne dans la bande d'étude (+ 1,1 % pour les NO_2).

- La mise en œuvre du projet entraîne une augmentation de l'indice pollution-population (IPP) d'environ 39 %. Cette variation s'explique principalement par la création de logements et l'augmentation de la population dans la zone d'étude.

L'évaluation des risques sanitaires (ERS) réalisée à partir des concentrations modélisées au droit des sites vulnérables permet d'établir les conclusions suivantes :

- Le projet entraîne une variation très faible de la somme des quotients de danger (QD) au niveau des sites étudiés. 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 très faible variation de l'excès de risque individuel (ERI) est également constatée entre les scénarios « futur sans projet » et « futur avec projet ». 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.

- En prenant en compte les dernières recommandations de l'OMS (2021), les seuils d'exposition au NO_2 sont respectés au niveau de tous les établissements et pour tous les scénarios. De plus, aucun dépassement de la valeur réglementaire pour le NO_2 (40 µg/m³ en moyenne annuelle) n'est à envisager.

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 XX^{ème} 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 33 : 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[21] 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.

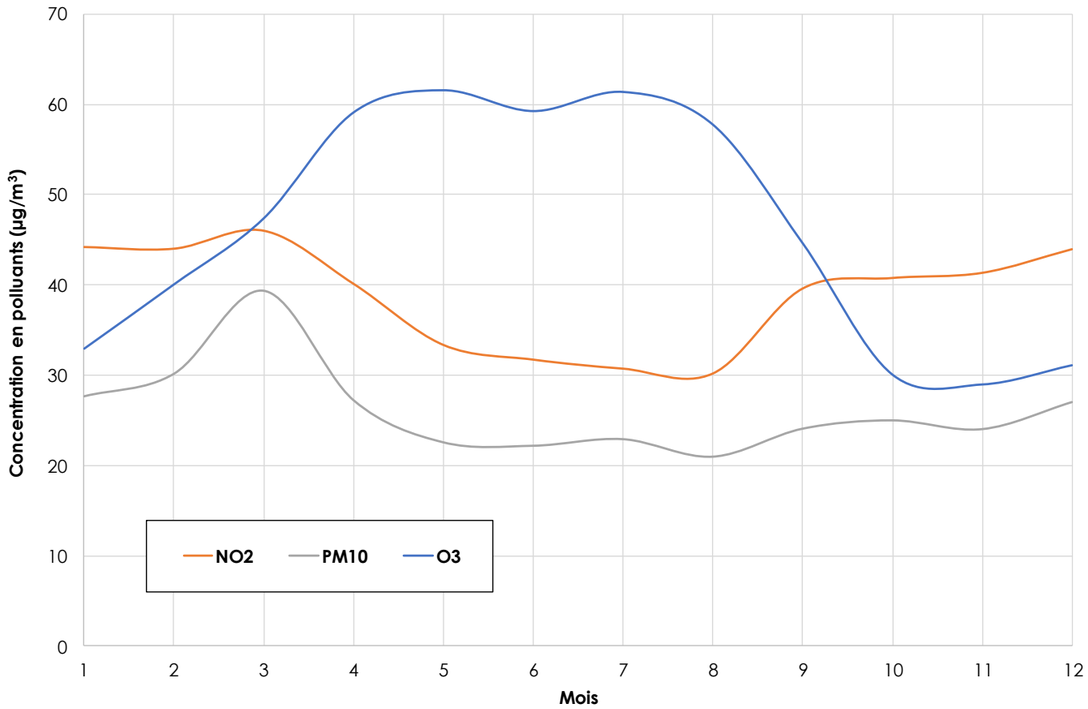


Figure 29 : profil annuel des concentrations de NO_2/PM_{10}/O_3 en Ile-de-France (données : Airparif)

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.

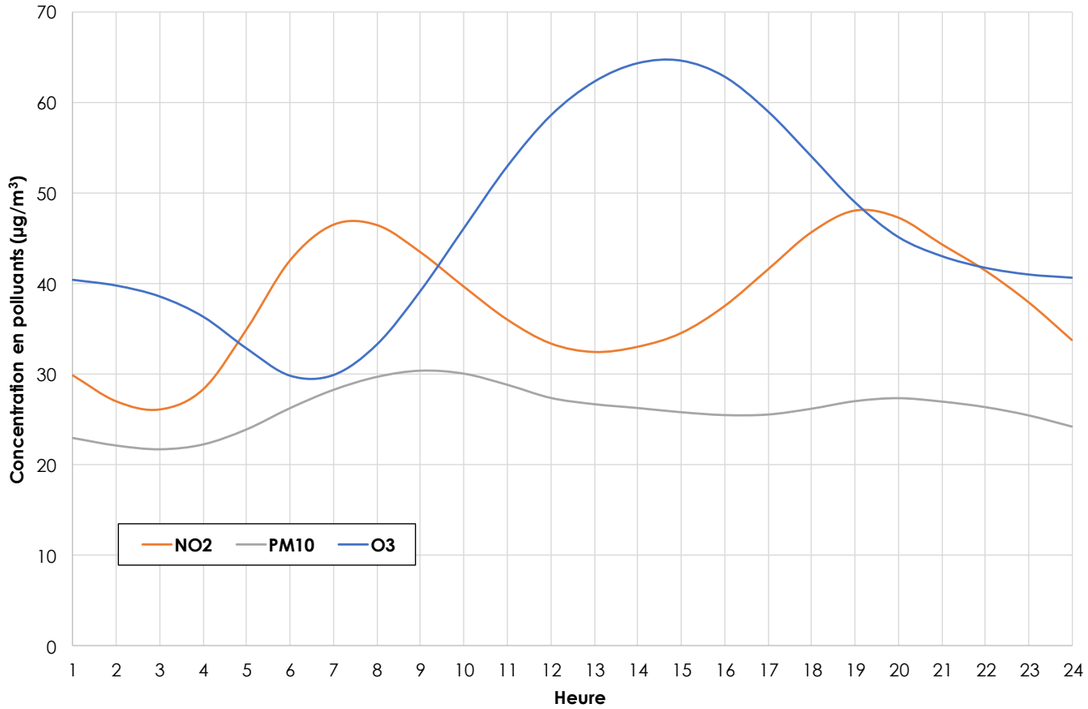


Figure 30 : profil journalier des concentrations de NO_2/PM_{10}/O_3 en Ile-de-France (données : Airparif)

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.

[21] 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[22] et internationales[23] 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).

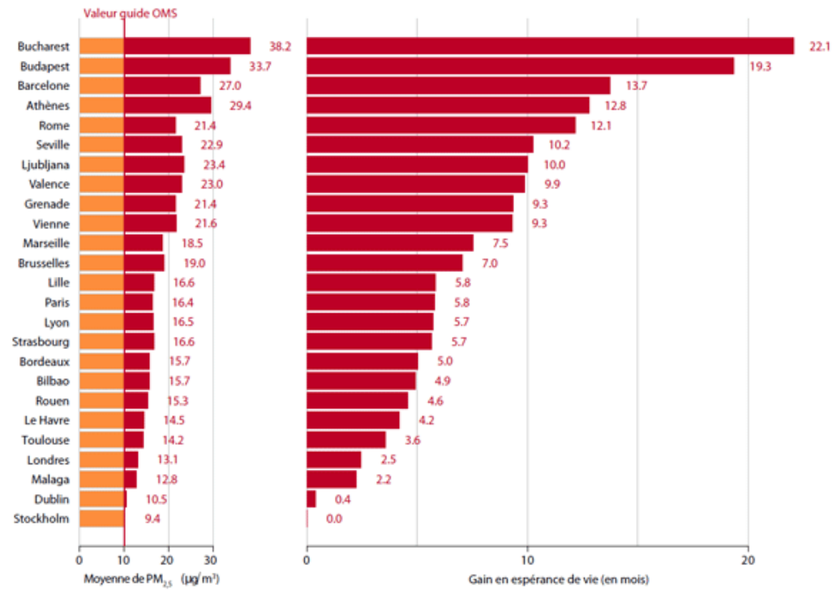


Figure 31 : gain d'espérance de vie pour une réduction des teneurs annuelles en $PM_{2.5}$ à 10 µg/m³

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 32 : 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[24] 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[25] 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.

[22] 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).
[23] 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.

[24] 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.
[25] 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[26].

En avril 2015, une étude[27] 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[28] 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[29], 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[30].
- 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 34 : récapitulatif de la réglementation en vigueur en France sur la qualité de l'air

[26] 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.
[27] 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.
[28] Commission d'enquête sénatoriale. Pollution de l'air, le coût de l'inaction. Tome I : Rapport. Juillet 2015.
[29] 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.
[30] 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[31] 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 35 : 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 36 : 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.

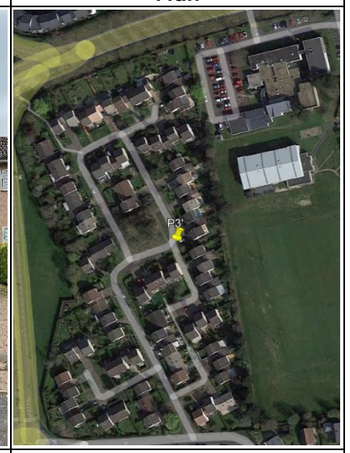
Tableau 37 : définition des seuils réglementaires

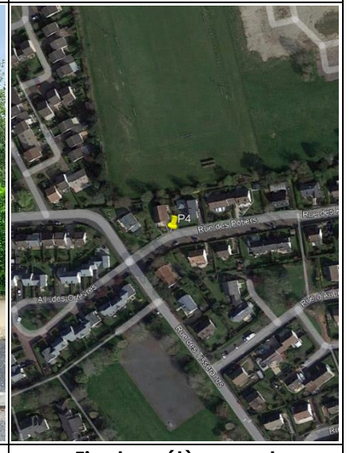
[31] AOT 40 (exprimé en µg/m³.heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ et 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 h et 20 h.

Annexe 2 : Fiches de point de mesure

P1					
Localisation : Boulevard Jean Moulin				**Coordonnées**	
Typologie : ☒ Trafic ☐ Fond urbain				49°12'29.19"N	0°22'13.62"O
Photographies				**Plan**	
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	375	11/09/2023	13h31	25/09/2023	16h55

P2					
Localisation : Rue des Potiers – Proximité Bd Jean Moulin				**Coordonnées**	
Typologie : ☐ Trafic ☒ Fond urbain				49°12'25.47"N	0°22'15.05"O
Photographies				**Plan**	
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	381	11/09/2023	13h53	25/09/2023	17h13

P3					
Localisation : Rue des Luthiers				**Coordonnées**	
Typologie : ☐ Trafic ☒ Fond urbain				49°12'27.38"N	0°22'30.38"O
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	407	11/09/2023	14h07	25/09/2023	17h08

P4					
Localisation : Rue des Potiers				**Coordonnées**	
Typologie : ☐ Trafic ☒ Fond urbain				49°12'22.37"N	0°22'25.22"O
Photographies				**Plan**	
					
Polluant	**Capteur**	**Début du prélèvement**		**Fin du prélèvement**	
NO_2	408 / 384	11/09/2023	13h47	25/09/2023	17h11

<table>
<tr><th colspan="6">P5</th></tr>
<tr><td colspan="4">Localisation : Boulevard Maréchal Juin</td><td colspan="2">Coordonnées</td></tr>
<tr><td colspan="4">Typologie : ☒ Trafic ☐ Fond urbain</td><td>49°12'29.19"N</td><td>0°22'13.62"O</td></tr>
<tr><td colspan="4">Photographies</td><td colspan="2">Plan</td></tr>
<tr><td colspan="4"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><th>Polluant</th><th>Capteur</th><th colspan="2">Début du prélèvement</th><th colspan="2">Fin du prélèvement</th></tr>
<tr><td>NO_2</td><td>374</td><td>11/09/2023</td><td>13h39</td><td>25/09/2023</td><td>17h04</td></tr>
</table>

Annexe 3 : Concentrations modélisées pour l'évaluation des risques sanitaires

1) Concentrations moyennes annuelles

Le tableau ci-dessous présente les concentrations modélisées en moyenne annuelle au droit de chaque site vulnérable. Ces valeurs correspondent à la concentration chronique des substances à effet de seuil et sans seuil pour le scénario majorant selon la formule **CI_{AS} majo = Ci** et **CI_{SS} majo = Ci**.

Site vulnérable	EHPAD Saint-Benoît		Lycée Fidélité		CESAM		CHU Caen	
Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
NO2	9,38E+00	9,43E+00	9,21E+00	9,28E+00	9,52E+00	9,55E+00	9,25E+00	9,27E+00
PM10	1,48E+01	1,48E+01	1,47E+01	1,47E+01	1,48E+01	1,48E+01	1,47E+01	1,47E+01
PM2,5	9,39E+00	9,40E+00	9,35E+00	9,36E+00	9,41E+00	9,42E+00	9,36E+00	9,36E+00
Benzène	6,02E-01	6,02E-01	6,02E-01	6,02E-01	6,02E-01	6,02E-01	6,02E-01	6,02E-01
1,3 butadiène	2,02E-01	2,02E-01	2,01E-01	2,01E-01	2,02E-01	2,02E-01	2,02E-01	2,02E-01
Chrome VI	5,65E-05	5,68E-05	5,57E-05	5,60E-05	5,72E-05	5,73E-05	5,59E-05	5,60E-05
Nickel	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04
Arsenic	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04	5,00E-04
Naphtalène	8,35E-03	8,89E-03	6,94E-03	7,62E-03	9,29E-03	9,56E-03	7,05E-03	7,31E-03
Acénaphtène	3,47E-04	3,50E-04	3,39E-04	3,43E-04	3,52E-04	3,54E-04	3,40E-04	3,41E-04
Acénaphtylène	3,35E-04	3,38E-04	3,29E-04	3,32E-04	3,39E-04	3,40E-04	3,30E-04	3,31E-04
Anthracène	3,30E-04	3,32E-04	3,25E-04	3,28E-04	3,34E-04	3,35E-04	3,26E-04	3,27E-04
Fluorène	1,51E-03	1,51E-03	1,51E-03	1,51E-03	1,51E-03	1,51E-03	1,51E-03	1,51E-03
Fluoranthène	1,80E-03	1,80E-03	1,80E-03	1,80E-03	1,80E-03	1,80E-03	1,80E-03	1,80E-03
Phénanthrène	5,11E-03	5,11E-03	5,11E-03	5,11E-03	5,11E-03	5,11E-03	5,11E-03	5,11E-03
Pyrène	1,30E-03	1,30E-03	1,30E-03	1,30E-03	1,30E-03	1,30E-03	1,30E-03	1,30E-03
Benzo(a)pyrène	4,06E-04	4,07E-04	4,05E-04	4,06E-04	4,07E-04	4,07E-04	4,05E-04	4,05E-04
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	8,15E-04	8,15E-04	8,13E-04	8,14E-04	8,16E-04	8,16E-04	8,13E-04	8,14E-04
Benzo(a)anthracène	8,44E-04	8,45E-04	8,43E-04	8,43E-04	8,46E-04	8,46E-04	8,43E-04	8,43E-04
Benzo(b)fluoranthène	9,80E-04	9,80E-04	9,78E-04	9,79E-04	9,81E-04	9,81E-04	9,78E-04	9,78E-04
Benzo(k)fluoranthène	6,28E-04	6,29E-04	6,27E-04	6,28E-04	6,29E-04	6,29E-04	6,27E-04	6,27E-04
Benzo(ghi)pérylène	1,38E-03	1,38E-03	1,37E-03	1,37E-03	1,38E-03	1,38E-03	1,37E-03	1,37E-03
Chrysène	1,47E-03	1,47E-03	1,46E-03	1,47E-03	1,47E-03	1,47E-03	1,46E-03	1,47E-03
Dibenzo(a,h)anthracène	9,73E-05	9,73E-05	9,71E-05	9,72E-05	9,74E-05	9,74E-05	9,71E-05	9,72E-05

Tableau 38 : concentrations modélisées en moyenne annuelle

2) Etude du risque chronique lié aux substances à effet à seuil pour le scénario majorant

Pour les substances avec effets à seuil, un quotient de danger (QD) est calculé d'après le ratio entre le niveau d'exposition et la valeur toxicologique de référence soit **QD = CI_{AS} / VTR.** La valeur du quotient de danger est comparée pour chaque organe cible à la valeur seuil de 1. Pour réaliser cette comparaison, les substances sont regroupées selon les effets qu'elles provoquent sur les organes cibles :

Site vulnérable		EHPAD Saint-Benoît		Lycée Fidélité		CESAM		CHU Caen	
Organe cible	Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Immunitaire	Benzène	6,02E-02	6,02E-02	6,02E-02	6,02E-02	6,02E-02	6,02E-02	6,02E-02	6,02E-02
Reproducteur	1,3-buta.	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01	1,01E-01
Cerveau	Arsenic	3,33E-02	3,33E-02	3,33E-02	3,33E-02	3,33E-02	3,33E-02	3,33E-02	3,33E-02
Fœtus	B(a)P	7,56E-01	7,57E-01	7,55E-01	7,56E-01	7,57E-01	7,57E-01	7,55E-01	7,56E-01
Respiratoire	Chrome VI	1,88E-03	1,89E-03	1,86E-03	1,87E-03	1,91E-03	1,91E-03	1,86E-03	1,87E-03
	Nickel	2,23E-03	2,23E-03	2,23E-03	2,23E-03	2,23E-03	2,23E-03	2,23E-03	2,23E-03
	Total	4,12E-03	4,12E-03	4,09E-03	4,10E-03	4,14E-03	4,14E-03	4,09E-03	4,10E-03

Tableau 39 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant

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 considérés **pour le scénario majorant**.

3) Etude du risque chronique lié aux substances à effets sans seuil pour le scénario majorant

L'évaluation du risque sanitaire pour les substances à effets sans seuils est réalisée d'après le calcul d'un **excès de risque individuel (ERI)**, correspondant à la probabilité de survenue d'une pathologie pour les individus exposés pour chaque scénario, d'après la formule **ERI = CI_{SS} x VTR**. Le résultat est sommé pour chaque polluant et comparé à la **valeur seuil de 1.10^{-5}.**

Site vulnérable	EHPAD Saint-Benoît		Lycée Fidélité		CESAM		CHU Caen	
Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
PM_{10}	2,98E-01	2,99E-01	2,97E-01	2,97E-01	2,99E-01	2,99E-01	2,97E-01	2,97E-01
$PM_{2.5}$	1,20E-01	1,20E-01	1,20E-01	1,20E-01	1,20E-01	1,21E-01	1,20E-01	1,20E-01
Benzène	1,57E-05	1,57E-05	1,56E-05	1,56E-05	1,57E-05	1,57E-05	1,56E-05	1,56E-05
1,3 butadiène	6,05E-06	6,05E-06	6,04E-06	6,04E-06	6,06E-06	6,07E-06	6,05E-06	6,05E-06
Chrome VI	2,26E-06	2,27E-06	2,23E-06	2,24E-06	2,29E-06	2,29E-06	2,23E-06	2,24E-06
Nickel	3,42E-08	3,42E-08	3,41E-08	3,41E-08	3,42E-08	3,42E-08	3,41E-08	3,41E-08
Arsenic	7,50E-08	7,50E-08	7,50E-08	7,50E-08	7,50E-08	7,50E-08	7,50E-08	7,50E-08
Acénaphtène	5,01E-09	5,33E-09	4,16E-09	4,57E-09	5,57E-09	5,74E-09	4,23E-09	4,39E-09
Acénaphtylène	2,08E-10	2,10E-10	2,03E-10	2,06E-10	2,11E-10	2,12E-10	2,04E-10	2,05E-10
Anthracène	2,01E-09	2,03E-09	1,98E-09	1,99E-09	2,04E-09	2,04E-09	1,98E-09	1,99E-09
Benzo(a)anthracène	1,98E-08	1,99E-08	1,95E-08	1,97E-08	2,00E-08	2,01E-08	1,95E-08	1,96E-08
Benzo(b)fluoranthène	9,08E-08	9,08E-08	9,06E-08	9,07E-08	9,09E-08	9,09E-08	9,07E-08	9,07E-08
Benzo(k)fluoranthène	1,08E-07	1,08E-07	1,08E-07	1,08E-07	1,08E-07	1,08E-07	1,08E-07	1,08E-07
Benzo(ghi)pérylène	3,07E-08	3,07E-08	3,07E-08	3,07E-08	3,07E-08	3,07E-08	3,07E-08	3,07E-08
Benzo(a)pyrène	7,82E-07	7,82E-07	7,82E-07	7,82E-07	7,82E-07	7,82E-07	7,82E-07	7,82E-07
Chrysène	2,44E-09	2,44E-09	2,43E-09	2,43E-09	2,44E-09	2,44E-09	2,43E-09	2,43E-09
Dibenzo(a,h)anthracène	4,89E-07	4,89E-07	4,88E-07	4,88E-07	4,89E-07	4,90E-07	4,88E-07	4,88E-07
Fluorène	5,07E-10	5,07E-10	5,06E-10	5,06E-10	5,07E-10	5,08E-10	5,06E-10	5,06E-10
Fluoranthène	5,88E-10	5,88E-10	5,87E-10	5,87E-10	5,88E-10	5,89E-10	5,87E-10	5,87E-10
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	7,54E-07	7,55E-07	7,53E-07	7,53E-07	7,55E-07	7,55E-07	7,53E-07	7,53E-07
Benzo(j)fluoranthène	1,51E-07	1,52E-07	1,51E-07	1,51E-07	1,52E-07	1,52E-07	1,51E-07	1,51E-07
Phénanthrène	8,81E-10	8,81E-10	8,79E-10	8,80E-10	8,82E-10	8,82E-10	8,79E-10	8,79E-10
Pyrène	5,84E-11	5,84E-11	5,83E-11	5,83E-11	5,84E-11	5,85E-11	5,83E-11	5,83E-11
Total	**4,18E-01**	**4,19E-01**	**4,17E-01**	**4,17E-01**	**4,20E-01**	**4,20E-01**	**4,17E-01**	**4,17E-01**

Tableau 40 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant

Tous les ERI dépassent la valeur de 1.10^{-5}, indiquant **un risque sanitaire lié aux substances à effets sans seuil** sur tous les sites vulnérables considérés **pour le scénario majorant**.

ANNEXE 2 – ETUDE ACOUSTIQUE– IMPEDANCE 2023

groupe impēdance

L'écoute des vibrations du monde

Opération Folie Couvrechef à Caen

Etude d'impact acoustique

Document 02DE01-EN13237

19 septembre 2023

CAEN LA MER CMH HABITAT

VIVRE ET HABITER EN NORMANDIE

Siège Paris Saclay : 80 Domaine de Montvoisin - 91400 GOMETZ-LA-VILLE - + 33 1 69 35 15 25
SAS au capital de 450 000 € I Code APE 7112B
RCS Evry 814 732 707 I TVA Intracommunautaire FR87 814732707

contact-impedance.fr www.impedance.fr

impēdance ingēnierie

Sommaire

1 Contexte et objet de l'étude 3

2 Contexte réglementaire 4
2.1 Indicateurs acoustiques 4
2.2 La réglementation en vigueur 4
2.2.1 Constructions nouvelles et voies classées 4
2.2.2 Voies nouvelles 5
2.2.3 Activités du SDIS 6
2.2.4 Normes 6

3 Situation acoustique initiale 7
3.1 Campagne de mesures acoustiques 7
3.1.1 Méthodologie et conditions de mesures acoustiques 7
3.1.2 Instrumentation 8
3.1.3 Résultats et analyse 8
3.2 Modélisation acoustique du site actuel 12
3.2.1 Validation du modèle 12
3.2.2 Niveaux sonores actuels 13
3.2.2.1 Hypothèses de calculs 13
3.2.2.2 Cartes horizontales du bruit actuel 14

4 Impact acoustique du projet 17
4.1 Hypothèses de simulation à terme 17
4.2 Cartes des niveaux sonores avec classement réglementaire 18
4.3 Recommandations 21

5 Conclusion 23

6 Annexes 24
6.1 Annexe 1 : Généralités sur le bruit dans l'environnement 24
6.2 Annexe 2 : Fiches de résultats des mesures acoustiques 28
6.2.1 Annexe 2.1 : Mesures courtes 28
6.2.2 Annexe 2.2 : Mesure longue 37

Date	Version	Modifications	Rédacteur	Vérificateur
19 septembre 2023	**01**	**Edition initiale**	**B.Masson**	**A. Bloquet**
Destinataires			Organisme	
Frédéric JOUGOUNOUX			CAEN LA MER CMH HABITAT – VIVRE ET HABITER EN NORMANDIE	

1 Contexte et objet de l'étude

Dans le cadre du projet d'opération urbaine de « la Folie – Couvrechef » à Caen, une étude acoustique est nécessaire afin de connaitre les impacts sur les nouvelles constructions et pour définir les préconisations pour la protection des riverains.

Cette étude acoustique se décompose en trois grandes phases :

1) L'établissement d'un état acoustique initial à l'aide d'une campagne mesures acoustiques et de la modélisation du site existant.
2) L'évaluation de l'impact acoustique sur le projet à l'aide de la modélisation acoustique du site.
3) La proposition de recommandations pour la protection acoustique des futurs riverains.

Le site en projet est bordé notamment par la caserne de pompiers au Nord, le service départemental d'incendie et de secours (SDIS du Calvados) sur le boulevard Maréchal Juin, et par le boulevard Jean Moulin à l'Est.

Plan du projet

2 Contexte réglementaire

2.1 Indicateurs acoustiques

Des notions d'acoustique ainsi qu'une description des indicateurs utilisés en acoustique de l'environnement sont présentées en *Annexe 1 : Généralités sur le bruit dans l'environnement*.

Précisons les points suivants :

- L'indicateur prévu par la réglementation pour rendre compte de la gêne due aux infrastructures de transport est le L_{Aeq}, le *niveau acoustique équivalent,* exprimé en *décibels pondérés A* et symbolisé *dB(A)*.
- Les niveaux acoustiques des périodes diurne et nocturne sont respectivement représentés par le **L_{Aeq}(6h-22h)** et le **L_{Aeq}(22h-6h)**.

2.2 La réglementation en vigueur

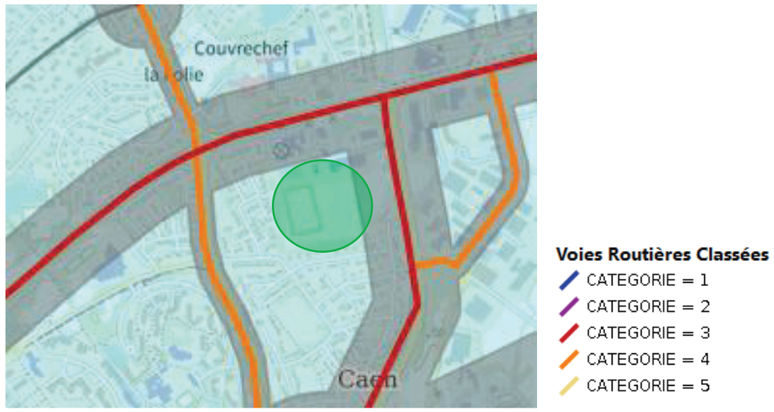
Les voies bruyantes, boulevard Maréchal Juin et boulevard Jean Moulin, qui sont à proximité du projet doivent être prises en compte vis-à-vis de leur impact acoustique.

Par ailleurs, les activités du SDIS pourraient potentiellement représenter une nuisance sonore ponctuellement.

2.2.1 Constructions nouvelles et voies classées

En termes de constructions nouvelles, c'est l'arrêté du 23 juillet 2013 qui fait référence pour la protection acoustique des bâtiments d'habitations vis-à-vis du bruit des transports terrestres, le classement des infrastructures contraint la protection des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit.

Le classement sonore est ici assez récent, il a été établi par arrêté préfectoral du 15 mai 2017 et place les deux boulevards en catégorie 3 (moyennement bruyante).



Classement sonore (échelle de 1 très bruyante à 5 peu bruyante) autour de la zone du projet en vert (source : DDTM 14)

Ce classement est actuellement en cours de révision de la part de la Préfecture du Calvados, mais son projet ne prévoit pas de modification de classement du boulevard Jean Moulin (le plus impactant).

Les niveaux sonores de référence qui seront utilisés ici pour la modélisation acoustique du projet futur seront donc conformes à l'arrêté du 23 juillet 2013, avec au point de référence (à 10m du bord de chaussée et à 5m de hauteur en façade) des contributions sonores respectivement égales en catégorie 3 :

- à 73 dB(A) le jour;
- à 68 dB(A) la nuit.

La valeur minimale de **l'isolement acoustique** standardisé des logements, indicateur pondéré $D_{nT,A,tr}$ des locaux vis-à-vis de l'espace extérieur, est déterminé de telle sorte que le niveau de bruit à l'intérieur des pièces principales et cuisines soit égal ou inférieur à 35 dB(A) en période diurne et à 30 dB(A) en période nocturne.

Cette valeur d'isolement doit être égale ou supérieure à 30 dB(A).

Etant donné que les niveaux sonores de référence de classement des voies possèdent un écart de 5 dB(A) entre elles, comme pour les valeurs limites à respecter à l'intérieur des logements, l'objectif d'isolement est identique ici pour les deux indicateurs (sauf prise en compte des effets météo différents) ; il est ainsi fixé par les conditions suivantes :

$$\mathbf{D_{nT,A,tr} \geq L_{Aeq,j} - 35} \quad \textit{et} \quad \mathbf{D_{nT,A,tr} \geq 30}, \textit{ en dB(A)}$$

où $L_{Aeq,j}$ représente la contribution sonore diurne des voies classées.

2.2.2 Voies nouvelles

Les nouvelles routes sont contraintes en termes de contribution sonore en façades des bâtiments sensibles présents dans leur environnement, conformément à l'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières.

Typiquement avec des contributions sonores limitées à 60 dB(A) le jour et à 55 dB(A) la nuit en façades des habitations.

Les voies de dessertes qui seront créées sur la future ZAC sont considérées contribuer à des niveaux sonores inférieurs à ces limites réglementaires (car ce seront des voies non classées supportant un débit journalier inférieur à 5000 véh./jour).

Opération Folie Couvrechef à Caen – Etude d'impact acoustique
Document 02DE01-EN13237 - 19 septembre 2023

2.2.3 Activités du SDIS

L'exploitation du SDIS pourrait potentiellement générer des bruits intempestifs pour son nouveau voisinage, c'est pourquoi le thème est abordé ici. Toutefois, la campagne de mesures acoustique n'a montré aucune nuisance sonore potentielle pour le site du projet.

La réglementation relative à la lutte contre le bruit de voisinage (conformément au décret 2006-1099 du 31 2006) considère des bruits récurrents, réguliers liés à des activités ou équipements de voisinage. S'agissant ici d'un service d'urgences, on ne peut certainement pas considérer les sources de bruit comme régulières mais on s'inspire ici de ce texte pour estimer les nuisances potentielles du site, elles sont exprimées par des critères d'émergences sonores :

La notion d'émergence globale : c'est la « différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, dans un lieu donné, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements ».

Les valeurs limites de cette émergence globale sont de 5 dB(A) en période diurne (7h-22h) et 3 dB(A) en période nocturne (22h-7h), valeurs auxquelles s'ajoute un terme correctif fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier, à savoir, pour une durée comprise entre :

4h et 8h ..... 1 dB
2h et 4h ..... 2 dB
20mn et 2 h ..... 3 dB
5mn et 20mn ..... 4 dB
1mn et 5mn ..... 5 dB
Moins ou égal à 1mn ..... 6 dB

L*a notion d'émergence spectrale* : c'est la « différence entre le niveau de bruit ambiant dans une bande d'octave normalisée, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit résiduel dans la même bande d'octave, constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, dans un lieu donné, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements ».

Les valeurs limites de cette émergence spectrale sont de 7 dB dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 125Hz et 250Hz, et de 5 dB dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 500Hz, 1000Hz, 2000Hz et 4000Hz.

2.2.4 Normes

La norme acoustique NFS 31-010 intitulée « caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement », ainsi que la norme NFS 31-085 relative au bruit routier, sont les références en vigueur pour les mesures et analyses acoustiques réalisées.

La norme acoustique NFS 31-133 intitulée « Bruit dans l'environnement - Calcul de niveaux sonores » est la référence en vigueur pour les calculs de propagation acoustique des bruits de transports routiers.

3 Situation acoustique initiale

3.1 Campagne de mesures acoustiques

3.1.1 Méthodologie et conditions de mesures acoustiques

Une campagne de mesures acoustiques a été réalisée :

- en un point de longue durée entre le 31 août et le 11 septembre 2023 ;
- en 4 points de mesures courtes (30 minutes), PR1 à PR3 le 31 août, et PR3 à nouveau le 11 septembre 2023.

Les microphones étaient localisés aux emplacements indiqués sur la planche ci-dessous.

Les conditions de trafics routiers étaient normales pendant l'intervention.

Les conditions météorologiques observées pendant les mesures étaient variables et n'ont pas été de nature à perturber la campagne de mesures acoustiques.

Localisation des points de mesures :
point fixe de 10 jours (PF) et mesures courtes (PR)

3.1.2 Instrumentation

Les chaînes métrologiques d'acquisition et de dépouillement utilisées sont conformes à la classe 1 (norme NF EN 61672). L'appareillage utilisé est répertorié dans le tableau ci-dessous !

Description	Marque	Type	Numéro de série
Sonomètres-analyseurs temps réel 1/3 octave de Classe 1	Brüel & Kjær	2250 G4	3003655
			3004106
Microphones ½" prépolarisés champ libre de Classe 1	Brüel & Kjær	4189	2866268
			2877069
Calibreur acoustique de référence de Classe 1	Brüel & Kjær	4231	3011734

Liste des appareils de mesures acoustiques utilisés

Le dépouillement et l'analyse des résultats ont été effectués à l'aide des outils suivants :

- logiciels de post-traitement Brüel & Kjær type 7820 Evaluator v4.16.8 et BZ-5503 Measurement Partner Suite v4.7 ;
- logiciels de calculs internes à Impédance-Ingénierie

3.1.3 Résultats et analyse

Les résultats détaillés figurent dans les fiches des points de mesures en *Annexe 2 : Fiches de résultats des mesures acoustiques;* au point fixe (PF), seuls trois jours significatifs y sont représentés sur fiches.

La synthèse des résultats mesurés bruts, est donnée dans le tableau suivant avec des arrondis au demi-décibel près :

Point	Hauteur	Résultat mesuré en dB(A)
PF	4m	Jour : 42 à 47,5 Nuit : 34 à 42,5
PR1	2m	46,5
PR2	1.5m	46
PR3	2m	53
PR3 bis	2m	49

Niveaux sonores équivalents bruts mesurés en dB(A) sur la zone d'étude

Les niveaux sonores mesurés sont très calmes, ils sont conditionnés essentiellement par la circulation routière et des bruits urbains (activités, sirènes, avertisseurs…) au loin, ainsi que par des bruits naturels proches (chants d'oiseaux, vent dans les arbres…).

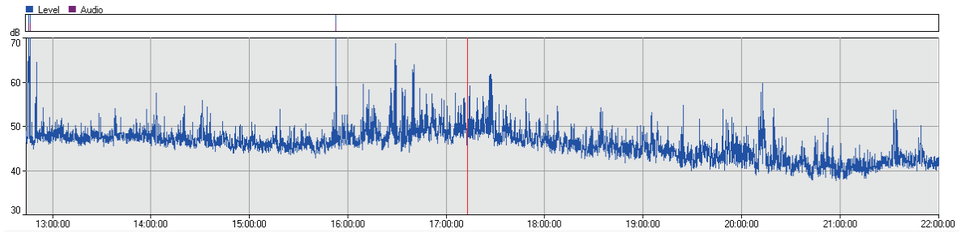
Les valeurs sont assez homogènes variant de 42 à 53 dB(A) de jour, et de 34 à 42 dB(A) la nuit au point fixe, représentant une ambiance très calme ; ces valeurs sont représentatives au sens réglementaire d'une ambiance sonore dite « modérée » (niveaux diurnes bien inférieurs à 65 dB(A) et niveaux nocturnes bien inférieurs à 60 dB(A)).

Les mesures au PF de 11 jours étaient destinées à montrer de potentielles nuisances sonores des activités voisines du SDIS, or :

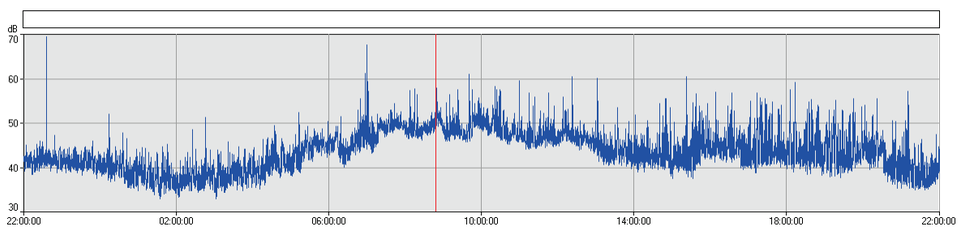
- les niveaux moyens enregistrés indiquent des ambiances sonores très calmes ;
- les périodes de pics de bruit sont rares et liées à des valeurs relativement modérées de 70 dB(A) maximum ;
- ces pics de bruit sont associés à des évènements externes au SDIS, comme par exemple : un passage d'hélicoptère le 2 septembre, des déchets de verre brièvement le 5 septembre, des chants d'oiseaux proches, etc.
- des bruits de moteurs en marche (sur le SDIS voisin) ont été enregistrés mais avec des contributions sonores faibles (40 à 45 dB(A) continu), par exemple les 9 ou 10 septembre.

Ainsi, l'activité du SDIS ne provoque pas de bruits particuliers ou en tout cas elle n'est pas la source de nuisance sonore particulière.

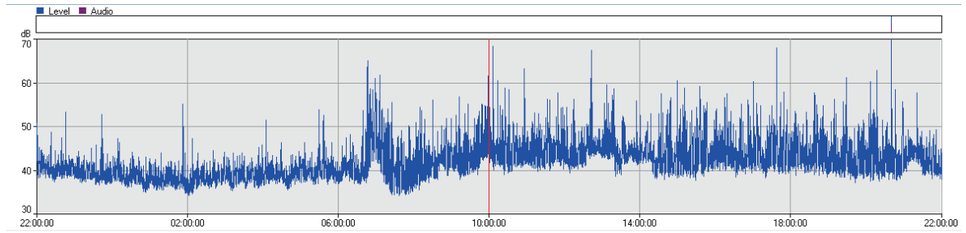
Pour indication, nous faisons figurer ci-après les évolutions temporelles des signaux sonores enregistrés au PF pendant 11 jours.



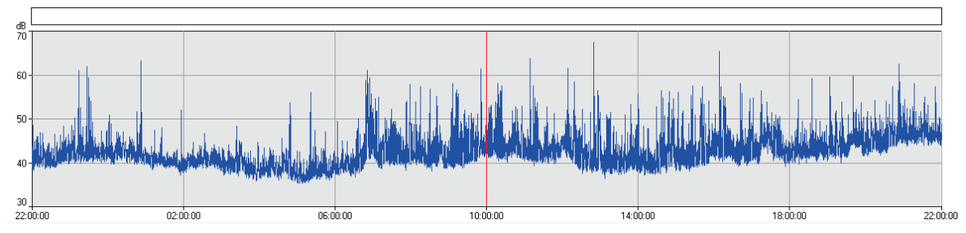
$L_{Aeq(1s)}$ mesurés au PF en dB(A) le 31 août 2023



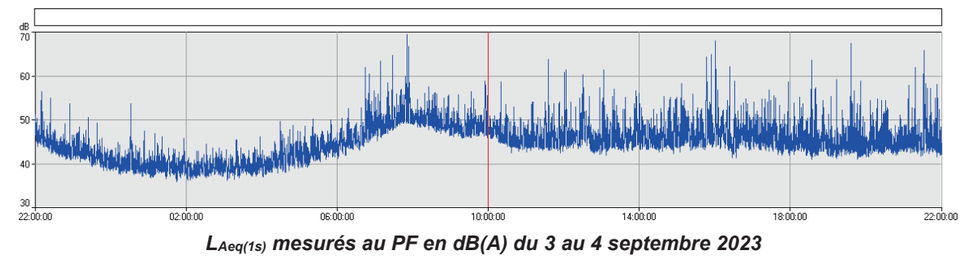
$L_{Aeq(1s)}$ mesurés au PF en dB(A) du 31 août au 1er septembre 2023



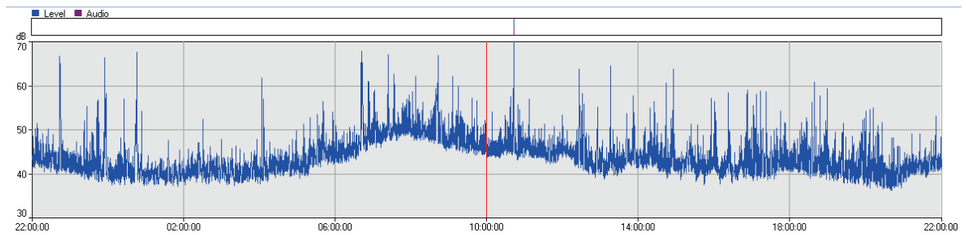
$L_{Aeq(1s)}$ mesurés au PF en dB(A) du 1er au 2 septembre 2023



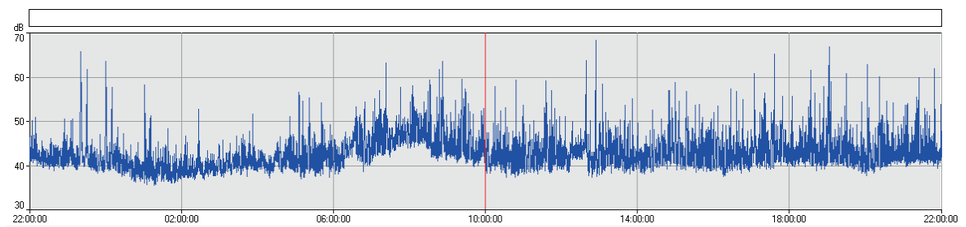
$L_{Aeq(1s)}$ mesurés au PF en dB(A) du 2 au 3 septembre 2023



$L_{Aeq(1s)}$ mesurés au PF en dB(A) du 3 au 4 septembre 2023



$L_{Aeq(1s)}$ mesurés au PF en dB(A) du 4 au 5 septembre 2023



$L_{Aeq(1s)}$ mesurés au PF en dB(A) du 5 au 6 septembre 2023