

MISSION D'ETUDE ET D'ASSISTANCE A MAITRISE D'OUVRAGE VISANT L'ACTUALISATION DE L'ETUDE D'IMPACT ET  
L'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE DE L'OPERATION DU NOUVEAU BASSIN

**ETUDE AIR ET SANTE**

Commanditaire :	<b>MA-GEO</b>	Rapport :	<b>Final</b>
Réalisation :	<b>Rincent Air</b>	Phase :	<b>1-1</b>
Auteur :	<b>Valentin Legouge</b>	Version :	<b>RP-AF2048-V2</b>
Validation :	<b>Benjamin Forestier</b>	Date :	<b>05/01/2021</b>

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

<b>I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>	<b>4</b>
<b>I.1 REFERENTIEL METHODOLOGIQUE .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2 CHOIX PREVISIONNEL DU NIVEAU D'ETUDE.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3 CRITERES DE REVISION.....</b>	<b>4</b>
<b>II. ETAT INITIAL : ÉTUDE DOCUMENTAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>II.1 LES EMISSIONS POLLUANTES.....</b>	<b>5</b>
II.1.1) Secteurs d'émissions dans le département du Calvados (14).....	5
II.1.2) Secteurs d'émissions dans la commune de Caen (14).....	5
II.1.3) Emissions liées au trafic routier.....	6
II.1.4) Secteur résidentiel/tertiaire.....	6
II.1.5) Secteur industriel.....	6
<b>II.2 POPULATION IMPACTEE .....</b>	<b>7</b>
II.2.1) Population générale.....	7
II.2.2) Population vulnérable.....	7
<b>II.3 DONNEES RELATIVES A LA QUALITE DE L'AIR .....</b>	<b>8</b>
II.3.1) Définitions.....	8
II.3.2) Station de mesure de référence.....	8
II.3.3) EIS-PA dans l'agglomération de Caen (2009-2010).....	9
<b>II.4 LES PLANS DE PREVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE.....</b>	<b>9</b>
II.4.1) Les différents plans.....	9
II.4.2) Cohérence du projet.....	10
<b>III. ETAT INITIAL : CAMPAGNE DE MESURE .....</b>	<b>11</b>
<b>III.1 METHODOLOGIE .....</b>	<b>11</b>
III.1.1) Polluants mesurés.....	11
III.1.2) Mesure du dioxyde d'azote.....	11
<b>III.2 PLAN D'ECHANTILLONNAGE.....</b>	<b>11</b>
III.2.1) Points de mesure.....	11
III.2.2) Période de mesure.....	11
<b>III.3 STATIONS DE REFERENCE.....</b>	<b>12</b>
III.3.1) Météorologie.....	12
III.3.2) Pollution atmosphérique.....	12
<b>III.4 CONDITIONS LORS DE LA CAMPAGNE .....</b>	<b>13</b>
III.4.1) Températures et précipitations.....	13
III.4.2) Conditions de vent.....	13
III.4.3) Pollution atmosphérique.....	13
<b>III.5 RESULTATS .....</b>	<b>14</b>
III.5.1) Validité des mesures par capteurs passif.....	14
III.5.2) Concentrations en NO <sub>2</sub> .....	14
III.5.3) Cartographie des résultats.....	14
<b>III.6 COMPARAISON A LA REGLEMENTATION.....</b>	<b>15</b>
III.6.1) Cadre réglementaire.....	15
III.6.2) Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ).....	15
<b>IV. EFFETS DU PROJET : ESTIMATION DES ÉMISSIONS POLLUANTES .....</b>	<b>15</b>
<b>IV.1 METHODOLOGIE .....</b>	<b>15</b>
IV.1.1) Polluants estimés.....	15
IV.1.2) Facteurs d'émissions unitaires.....	15
IV.1.3) Scénarios considérés.....	15
IV.1.4) Données de trafic.....	16
IV.1.5) Bande d'étude.....	16
<b>IV.2 RESULTATS .....</b>	<b>17</b>
IV.2.1) Emissions polluantes globales.....	17

IV.2.2) Cartographie des émissions.....	17
IV.2.3) Etude des variations liées au projet.....	18
<b>IV.3 MONETARISATION DES COUTS .....</b>	<b>19</b>
IV.3.1) Coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique.....	19
IV.3.2) Coûts collectifs liés à l'effet de serre.....	19
<b>V. EFFETS DU PROJET : MODÉLISATION DES CONCENTRATIONS.....</b>	<b>20</b>
<b>V.1 LOGICIEL DE MODELISATION UTILISE .....</b>	<b>20</b>
<b>V.2 DONNEES D'ENTREE.....</b>	<b>20</b>
V.2.1) Emissions polluantes.....	20
V.2.2) Météorologie.....	20
V.2.3) Topographie.....	20
V.2.4) Population.....	20
V.2.5) Pollution de fond.....	20
<b>V.3 RESULTATS .....</b>	<b>21</b>
V.3.1) Cartographies.....	21
V.3.2) Concentrations sur les points d'intérêt.....	22
V.3.3) Indice IPP.....	22
<b>VI. EFFETS DU PROJET : ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES.....</b>	<b>23</b>
<b>VI.1 PRINCIPE.....</b>	<b>23</b>
<b>VI.2 IDENTIFICATION DES DANGERS .....</b>	<b>23</b>
<b>VI.3 EVALUATION DES RELATIONS DOSE-REPONSE .....</b>	<b>23</b>
<b>VI.4 EVALUATION DE L'EXPOSITION .....</b>	<b>24</b>
VI.4.1) Sites exposés.....	24
VI.4.2) Voies d'exposition.....	24
VI.4.3) Scénarios d'exposition chronique.....	24
VI.4.4) Concentrations moyennes annuelles.....	25
VI.4.5) Concentrations maximales.....	25
VI.4.6) Concentrations inhalées pour les substances à seuil.....	25
VI.4.7) Concentrations inhalées pour les substances sans seuil.....	25
<b>VI.5 CARACTERISATION DU RISQUE .....</b>	<b>26</b>
VI.5.1) Principe.....	26
VI.5.2) Etude du risque chronique lié aux substances à effet à seuil.....	26
VI.5.3) Etude du risque chronique lié aux substances à effets sans seuil.....	26
VI.5.4) Etude du risque chronique lié aux substances sans VTR.....	27
VI.5.5) Etude du risque aigu lié aux substances sans VTR.....	27
<b>VI.6 INCERTITUDES .....</b>	<b>27</b>
VI.6.1) Identification des dangers.....	27
VI.6.2) Relation dose-réponse.....	27
VI.6.3) Estimation de l'exposition.....	27
VI.6.4) Caractérisation du risque.....	27
<b>VII. MESURES D'ÉVITEMENT DE RÉDUCTION OU DE COMPENSATION.....</b>	<b>28</b>
<b>VII.1 EN PHASE PROGRAMMATION/CONCEPTION DE PROJET .....</b>	<b>28</b>
<b>VII.2 EN PHASE CHANTIER.....</b>	<b>28</b>
<b>VIII. SYNTHÈSE.....</b>	<b>29</b>
<b>VIII.1 ETAT INITIAL .....</b>	<b>29</b>
<b>VIII.2 EFFETS DU PROJET.....</b>	<b>29</b>

## ANNEXE

Annexe 1 : Rappel des effets de la pollution atmosphérique sur la santé.....	31
Annexe 2 : Fiches de point de mesure.....	36

## TABLEAUX

Tableau 1 : définition des niveaux d'études (circulaire du 22/02/2019) .....	4
Tableau 2 : contenu des différents niveaux d'étude .....	4
Tableau 3 : données de trafic .....	4
Tableau 4 : principales industries et leurs émissions de polluants atmosphériques en 2017 .....	6
Tableau 5 : description des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet .....	7
Tableau 6 : moyennes annuelles des concentrations en polluants sur les stations ATMO Normandie .....	8
Tableau 7 : plan d'échantillonnage .....	11
Tableau 8 : étude des données AASQA .....	13
Tableau 9 : facteurs de validité des mesures .....	14
Tableau 10 : résultats des mesures pour le NO <sub>2</sub> .....	14
Tableau 11 : données de trafic .....	16
Tableau 12 : définition de la bande d'étude (note technique du 22/02/2019) .....	16
Tableau 13 : bilan des émissions .....	17
Tableau 14 : récapitulatif des émissions de NO <sub>x</sub> par brins routiers .....	18
Tableau 15 : valeurs tutélaires du coût de la pollution liée au trafic routier .....	19
Tableau 16 : densité de population des zones traversées par l'infrastructure .....	19
Tableau 17 : facteurs d'évolution des valeurs tutélaires .....	19
Tableau 18 : valeurs tutélaires retenues pour le coût de la pollution .....	19
Tableau 19 : coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique .....	19
Tableau 20 : coûts collectifs liés à l'effet de serre .....	19
Tableau 21 : bruit de fond .....	20
Tableau 22 : concentrations moyennes en NO <sub>x</sub> sur les points d'intérêt .....	22
Tableau 23 : IPP dans la maille la plus exposée et IPP global .....	22
Tableau 24 : substances et dangers associés .....	23
Tableau 25 : valeurs disponibles pour l'exposition par l'inhalation .....	23
Tableau 26 : valeurs de comparaison pour l'exposition par inhalation .....	23
Tableau 27 : paramètres d'exposition .....	24
Tableau 28 : calcul des concentrations d'exposition pour chaque scénario .....	24
Tableau 29 : concentrations modélisées en moyenne annuelle / concentrations inhalées majorantes pour l'exposition à seuil et sans seuil .....	25
Tableau 30 : concentrations modélisées en maxima / Concentrations inhalées pour l'exposition aigue .....	25
Tableau 31 : concentrations inhalées réalistes pour l'exposition à seuil .....	25
Tableau 32 : concentrations inhalées réalistes pour l'exposition sans seuil .....	25
Tableau 33 : calcul des indices de risque .....	26
Tableau 34 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant .....	26
Tableau 35 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste .....	26
Tableau 36 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant .....	26
Tableau 37 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste .....	26
Tableau 38 : comparaison des concentrations aux valeurs guides chroniques – scénario majorant .....	27
Tableau 39 : comparaison des concentrations aux valeurs guides aigus .....	27
Tableau 40 : description des principaux polluants en air ambiant .....	31
Tableau 41 : récapitulatif de la réglementation en vigueur en France sur la qualité de l'air .....	34
Tableau 42 : valeurs réglementaires pour les composés gazeux dans l'air ambiant .....	35
Tableau 43 : valeurs réglementaires pour les composés particuliers dans l'air ambiant .....	35
Tableau 44 : définition des seuils réglementaires .....	35

## FIGURES

Figure 1 : part des émissions atmosphériques par secteur pour le département du Calvados (14) .....	5
Figure 2 : part des émissions atmosphériques par secteur pour la ville de Caen (14) .....	5
Figure 3 : localisation des principaux axes routiers dans la zone d'étude .....	6
Figure 4 : localisation des principaux sites industriels dans un rayon de 10 km autour du projet .....	6
Figure 5 : population autour de la zone du projet .....	7
Figure 6 : localisation des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet .....	7
Figure 7 : localisation des stations qualité de l'air de référence .....	8
Figure 8 : plan d'échantillonnage .....	11
Figure 9 : localisation de la station météorologique de référence .....	12
Figure 10 : localisation des stations AASQA de référence .....	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 <sub>2</sub> à la réglementation .....	15
Figure 15 : bande d'étude .....	16
Figure 16 : émissions de NO <sub>x</sub> – scénario actuel .....	17
Figure 17 : émissions de NO <sub>x</sub> – scénario futur sans projet .....	17
Figure 18 : émissions de NO <sub>x</sub> – scénario futur avec projet .....	18
Figure 19 : variation émissions de NO <sub>x</sub> avec / sans projet .....	18
Figure 20 : rose des vents utilisée pour la modélisation .....	20
Figure 21 : représentation du relief en vue 2D .....	20
Figure 22 : concentration moyenne journalière en NO <sub>x</sub> – scénario actuel .....	21
Figure 23 : concentration moyenne journalière en NO <sub>x</sub> – scénario futur sans projet .....	21
Figure 24 : concentration future moyenne journalière en NO <sub>x</sub> – futur avec projet .....	21
Figure 25 : variation des concentrations en NO <sub>x</sub> entre le scénario futur sans projet et avec projet .....	21
Figure 26 : histogrammes de distribution concentration/population pour les NO <sub>x</sub> .....	22
Figure 27 : variation de l'IPP entre le scénario futur sans projet et avec projet .....	22
Figure 28 : localisation des sites vulnérables dans la bande d'étude .....	24
Figure 29 : profil annuel des concentrations de NO <sub>2</sub> /PM <sub>10</sub> /O <sub>3</sub> en Ile-de-France (données : Airparif) .....	32
Figure 30 : profil journalier des concentrations de NO <sub>2</sub> /PM <sub>10</sub> /O <sub>3</sub> en Ile-de-France (données : Airparif) .....	32
Figure 31 : gain d'espérance de vie pour une réduction des teneurs annuelles en PM <sub>2,5</sub> à 10 µg/m <sup>3</sup> .....	33
Figure 32 : pyramide des effets de la pollution atmosphérique .....	33

## I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

### I.1 Référentiel méthodologique

Les projets d'aménagement urbain sont soumis à l'article L122-1 du Code de l'Environnement qui impose au maître d'ouvrage la réalisation d'une évaluation environnementale systématique ou après examen au cas par cas. Lors de cette évaluation, et en l'absence d'autre référentiel, les effets sur la qualité de l'air peuvent être pris en compte conformément à la réglementation applicable aux infrastructures routières. 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 contenu de l'étude air et santé dépend du trafic, de la population concernée, et du linéaire de voirie sur les axes subissant une modification de trafic de plus de 10 %. Le tableau ci-dessous présente les niveaux d'étude (de I à IV) applicables en fonction de ces éléments :

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/km <sup>2</sup>	I	I	II	>5km : II <5km : III
2000 à 10000 hab/km <sup>2</sup>	I	II	II	>25km : II <25km : III
≤ 2000 hab/km <sup>2</sup>	I	II	II	>50km : II <50km : III
Pas de bâti	III	III	IV	IV

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

Le tableau ci-dessous présente le contenu des différents niveaux d'étude appliqué par Rincent Air d'après la note technique du 22 février 2019 :

Contenu des études	IV	III	II	I
<b>Etude documentaire</b>	Secteurs d'émissions, sources d'émissions, données du réseau de surveillance, plans locaux		Secteurs d'émissions, sources d'émissions, population exposée, sites vulnérables, données du réseau de surveillance, plans locaux	Secteurs d'émissions, sources d'émissions, projets proches, population exposée, sites vulnérables, sites exposés au risque d'ingestion, données du réseau de surveillance, plans locaux, étude EISPA
<b>Campagne de mesure</b>		NO <sub>2</sub> en cas de manque de données	- NO <sub>2</sub> systématique - PM <sub>10</sub> en cas de demande de l'AE	- Dans l'air ambiant : NO <sub>2</sub> , benzène, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , 16 HAP*, 3 ETM**, 1,3-butadiène - Dans les sols et végétaux : 16 HAP
<b>Estimation des émissions polluantes</b>	NO <sub>x</sub> , benzène, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , CO, COVNM, SO <sub>2</sub> , BaP, 2 ETM (As, Ni)			NO <sub>x</sub> , benzène, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , CO, COVNM, SO <sub>2</sub> , BaP+15HAP, 3 ETM, 1,3-butadiène
<b>Calcul des coûts collectifs</b>	NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub> , COVNM, SO <sub>2</sub>			
<b>Modélisation des concentrations</b>			NO <sub>2</sub> systématique, PM <sub>10</sub> en cas de demande de l'AE pour 3 scénarios : - actuel - futur sans projet - futur avec projet	NO <sub>2</sub> , benzène, PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , BaP+15HAP, 1,3-butadiène, 3 ETM pour 5 scénarios : - actuel, - futur sans projet - futur avec projet - futur sans projet + 20 ans - futur avec projet + 20 ans
<b>Calcul de l'indice pollution-population</b>			NO <sub>2</sub> systématique, PM <sub>10</sub> en cas de demande de l'AE pour 3 scénarios	NO <sub>2</sub> systématique, PM <sub>10</sub> en cas de demande de l'AE pour 5 scénarios
<b>Etude des risques sanitaires</b>			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
<b>Mesures ERC</b>	Analyse des impacts en phase chantier et des mesures ERC applicables			

\*16 HAP prioritaires selon l'US-EA dont le benzo(a)pyrène (BaP)

\*\*arsenic (As), nickel (Ni), chrome (Cr)

Tableau 2 : contenu des différents niveaux d'étude

### I.2 Choix prévisionnel du niveau d'étude

Les données de trafic sont issues de l'étude réalisée par la société Transitec, référencée sous « 9332\_150-rap-lvi-2-phases1-4 ». Le tableau ci-dessous reprend les trafics moyens journaliers annuels (TMJA) pour chaque scénario :

N°	Rue	TMJA Actuel	TMJA Futur Sans projet	TMJA Futur Avec projet	Delta avec/sans projet (%)
1	Cours Montalivet	30500	26300	30100	14%
2	Pont Alexandre Stirn	16850	18290	19550	7%
3	Pont de l'Ecluse	8800	10240	10240	0%
4	Cours Caffarelli 1	3900	3900	7500	92%
5	Cours Caffarelli 2	3900	3900	7500	92%
6	Cours Caffarelli 3	3900	3900	7500	92%
7	Cours Caffarelli 4	3900	3900	7500	92%
8	Voie 810	1800	1800	4700	161%
9	Chaussée d'Alger	2050	2050	6550	220%
10	Quai de Normandie	2050	2050	6550	220%
11	Avenue Victor Hugo	6100	7100	7100	0%
12	Rue Dumont d'Urville	8300	8300	12100	46%
13	Avenue de Tourville	8300	8300	12600	52%
14	Quai Vendeuvre	13650	13650	16350	20%

Tableau 3 : données de trafic

Un impact significatif du projet (plus de 10 %) est constaté sur plusieurs axes portant un trafic supérieur à 10 000 véh/j (axes n°1, 12, 13 et 14). **Dans ce cadre, l'étude est traitée selon un niveau II.**

### I.3 Critères de révision

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

- o 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 2010, la population au niveau de la zone du projet est inférieure à 100 000 habitants.
- o 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 le département du Calvados, non couvert par un PPA. Le projet n'est donc pas concerné par ce critère.

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

- o 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.
- o 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.
- o L'éloignement de la population par rapport au réseau viaire, en comparaison avec l'état initial, permet de diminuer le type d'étude d'un niveau. Le projet n'est pas concerné par ce critère.

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

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

## II. ETAT INITIAL : ETUDE DOCUMENTAIRE

### II.1 Les émissions polluantes

#### II.1.1 Secteurs d'émissions dans le département du Calvados (14)

La figure ci-dessous présente la contribution en pourcentage des différents secteurs d'activités aux émissions de polluants atmosphériques pour la commune de Caen. Il s'agit d'estimations réalisées en 2018 par ATMO Normandie pour l'année 2014.

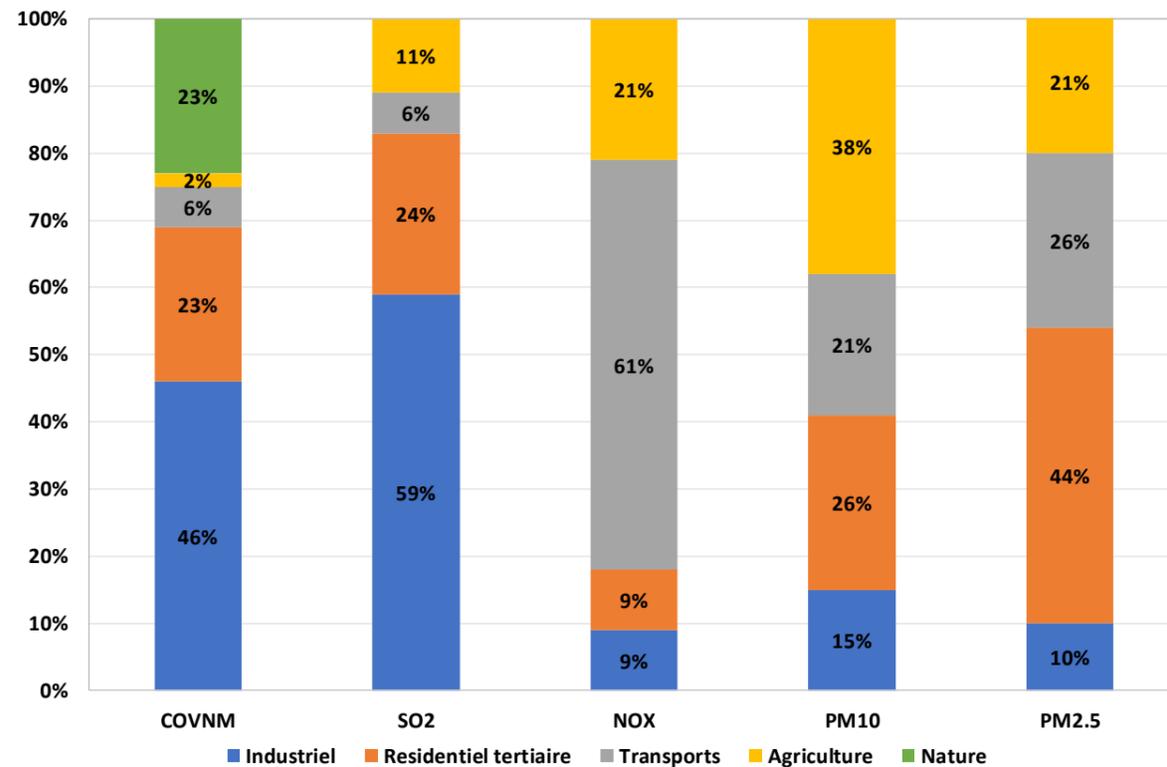


Figure 1 : part des émissions atmosphériques par secteur pour le département du Calvados (14)

- Les émissions de NO<sub>x</sub> dans le département du Calvados proviennent majoritairement du secteur des transports (61 %), en majorité routier (influence du transport maritime). Les sources secondaires de NO<sub>x</sub> sont liées à l'agriculture (21 %), l'industrie (9 %) et le résidentiel-tertiaire (9 %).
- Les COVNM sont émis en grande partie par le secteur industriel (46 %) et dans une moindre mesure par le secteur résidentiel-tertiaire (utilisation domestique et professionnelle de solvants, cosmétiques, peintures...). De nombreux COVNM sont également émis par le milieu naturel (végétation, forêts...) qui représente 23 % des émissions départementales totales, comme le secteur résidentiel-tertiaire.
- Les émissions de ce polluant sont dorénavant très faibles et principalement dues au secteur industriel (59 %). Le secteur résidentiel-tertiaire est le second émetteur avec 24 % des émissions départementales totales dues au chauffage.
- Les émissions de PM<sub>10</sub> présentent une contribution moins marquée d'un secteur en particulier du fait de la multitude de leurs sources d'émission : transport (particules émises à l'échappement, usures des freins, frottements), industrie (fonderies, verreries, incinération, carrières, BTP...), agriculture (épandage, préparation des sols...). Le chauffage au bois représente une des principales sources d'émissions dans le secteur résidentiel-tertiaire (ce dernier contribue à hauteur de 26 % des émissions totales de PM<sub>10</sub> dans le département).
- Les émissions de PM<sub>2.5</sub> présentent une répartition par secteur relativement similaire à celle des PM<sub>10</sub> dans le département du Calvados, le secteur agricole étant moins émissif (21 %) au profit du secteur résidentiel-tertiaire (44 %), principalement du fait des équipements de chauffage dans les logements.

#### II.1.2 Secteurs d'émissions dans la commune de Caen (14)

La figure ci-dessous présente la contribution en pourcentage des différents secteurs d'activités aux émissions de polluants atmosphériques pour la commune de Caen. Il s'agit d'estimations réalisées en 2018 par ATMO Normandie pour l'année 2014.

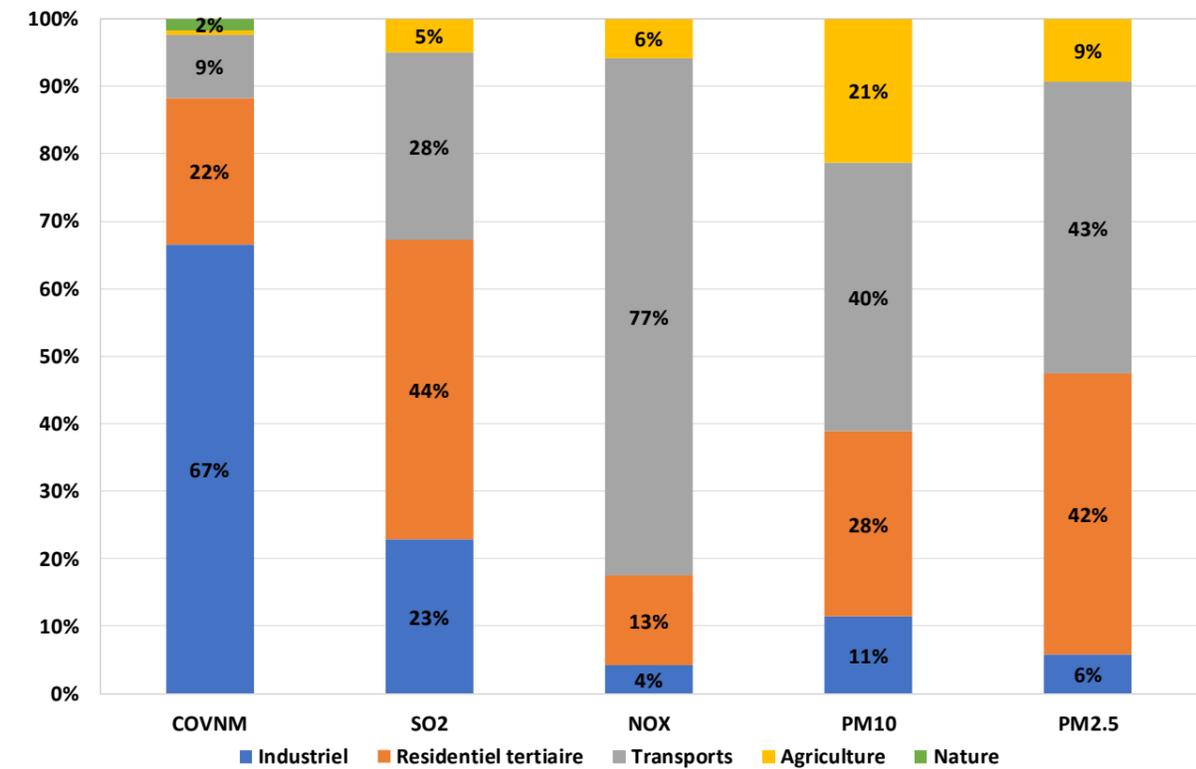


Figure 2 : part des émissions atmosphériques par secteur pour la ville de Caen (14)

A l'échelle de la commune de Caen, le secteur du transport (constitué en grande majorité par le transport routier) représente plus de 75 % des émissions de NO<sub>x</sub> soit 15 % de plus qu'à l'échelle du département. Ce secteur est également un émetteur significatif de particules avec environ 45 % des émissions de PM<sub>10</sub> et 40 % des émissions de PM<sub>2.5</sub> soit environ 20 % de plus qu'à l'échelle du Calvados. Le secteur résidentiel/tertiaire est quant à lui le deuxième secteur le plus émetteur de NO<sub>x</sub> (environ 30 %).

### II.1.3] Emissions liées au trafic routier

Les principales sources d'émissions liées au trafic routier dans l'environnement du projet sont constituées par la N814 (périphérique nord) à l'est de la zone du projet et la D513 (cours Montalivet) qui borde la zone du projet au sud.



Figure 3 : localisation des principaux axes routiers dans la zone d'étude

La densité de circulation sur ces différents axes laisse envisager des émissions polluantes locales importantes, notamment en oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et dans une moindre mesure en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>), émis principalement par le trafic routier en zone urbanisée.

### II.1.4] Secteur résidentiel/tertiaire

Le projet s'inscrit dans un environnement urbanisé. Le secteur résidentiel-tertiaire est un émetteur important de CO, COVNM et de particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) dans le département du Calvados, ce qui indique également des émissions potentiellement importantes de ces polluants.

### II.1.5] Secteur industriel

Le Registre Français des Emissions Polluantes (iREP) recense les rejets atmosphériques déclarés par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). L'analyse de cette base de données<sup>1</sup> a permis de localiser 6 sites industriels émettant des polluants atmosphériques à effet sanitaire dans un rayon de 10 km autour de la zone du projet, dont la liste et la géolocalisation sont indiquées dans la figure et le tableau suivants.

NB : les sites industriels émettant de gaz à effet de serre ne sont pas indiqués (exemples : CHU de Caen ou Saint Louis Sucre de Cagny pour le CO<sub>2</sub>, Murata Integrated Passive Solutions pour le SF<sub>6</sub>), de même que les sites industriels dont les émissions de polluants atmosphériques datent de plus de 5 ans (exemple : STS Composites France située à Blainville-sur-Orne dont les dernières émissions de COVNM datent de 2013).



Figure 4 : localisation des principaux sites industriels dans un rayon de 10 km autour du projet

N°	Industrie	Polluants	Emissions 2018
1	Ciments Clavia - Usine de Ranville	NO <sub>x</sub>	420 t
		SO <sub>2</sub>	555 t
		NH <sub>3</sub>	12 t
		Cu	117 kg
2	Usine d'Incinération avec Valorisation Energétique	Hg	21 kg
3	Renault Trucks Blainville	COVNM	59 t
4	Murata Integrated Passive Solutions	PFC	242 kg
5	Prestia Galvalek	Zn	322 kg (2016)

Tableau 4 : principales industries et leurs émissions de polluants atmosphériques en 2017

D'après les données disponibles, les industries polluantes identifiées à proximité du site émettent en quantité importante des COV et NO<sub>x</sub> notamment. Ces émissions polluantes peuvent, sous des directions de vent nord-est, venir s'ajouter au bruit de fond urbain (notamment aux émissions issues du trafic pour les NO<sub>x</sub> et aux émissions issues du secteur résidentiel/tertiaire pour les COV) dans la zone du projet. Les différents composés émis par ces activités plus spécifiques comme le SO<sub>2</sub>, le NH<sub>3</sub> et les métaux lourds peuvent par ailleurs contribuer, par différents processus physico-chimiques dans l'atmosphère, à la formation d'aérosols secondaires et donc à l'augmentation des concentrations en particules dans l'environnement du projet.

<sup>1</sup> Les sites qui ne présentent aucune information sur les polluants rejetés dans l'air ambiant ne sont pas comptabilisés.

## 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 2010 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.

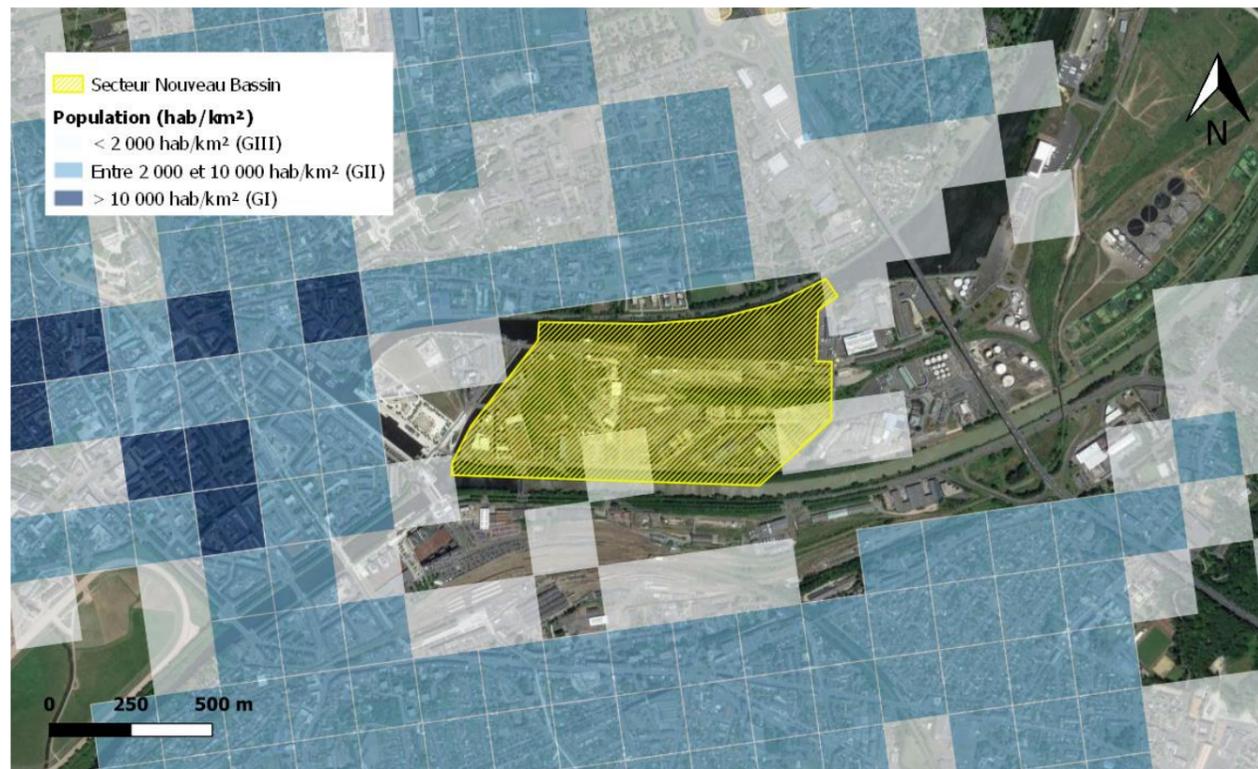


Figure 5 : population autour de la zone du projet

Le projet se situe dans la ville de Caen (14). Le nombre d'habitants dans cette ville est de 105 354 habitants (données 2017) pour une superficie de 25,70 km<sup>2</sup> soit une densité d'environ 4 100 habitants/km<sup>2</sup>. La superposition de la zone du projet avec les données carroyées de l'INSEE sur la figure ci-dessus indique une population dans la zone du projet nulle ou inférieure à 2 000 hab/km<sup>2</sup>. Il s'agit donc actuellement d'une zone très peu densément peuplée.

### II.2.2] Population vulnérable

Les sites vulnérables sont définis à partir de la note méthodologique 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 et concernent :

- 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 5 présente la localisation des sites vulnérables les plus proches du projet. Leur description est présentée dans le tableau 5.

N°	Etablissement	Type
1	Collège Henri Brunet	Etablissement scolaire
2	Ecole élémentaire Henri Brunet	Etablissement scolaire
3	Lycée professionnel L'Oasis	Etablissement scolaire
4	Ecole-collège privé Cours du Sacré-cœur	Etablissement scolaire
5	Ecole primaire Puits Picard	Etablissement scolaire
6	Hôpital Clémenceau (CHU de Caen Normandie)	Etablissement de santé
7	Résidence Autonomie – Les Rives de l'Orne	Etablissement pour personnes âgées
8	Résidence La Demi-Lune	Etablissement pour personnes âgées
9	Groupe scolaire Les Millepertuis	Etablissement scolaire
10	Ecole élémentaire Lucie Aubrac	Etablissement scolaire
11	Ecole maternelle Centre	Etablissement scolaire
12	EHPAD La Source	Etablissement pour personnes âgées
13	Halte-garderie Mondeville	Etablissement de la petite enfance
14	Crèche municipale	Etablissement de la petite enfance
15	Crèche Bleue	Etablissement de la petite enfance
16	Crèche familiale centre-ville	Etablissement de la petite enfance
17	Micro-crèche HAPILI Les Rives de l'Orne	Etablissement de la petite enfance

Tableau 5 : description des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet

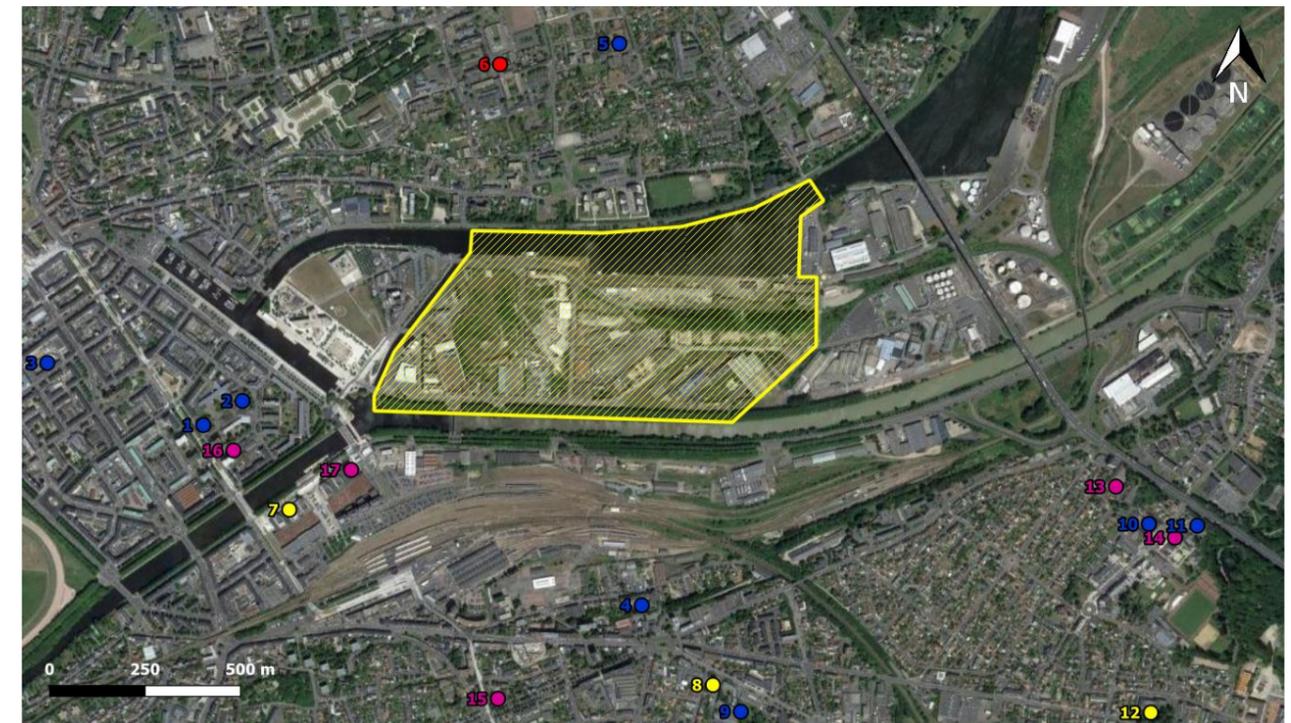


Figure 6 : localisation des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet

Le recensement a permis la localisation de 16 sites sensibles dans l'environnement de la zone d'étude. Plusieurs d'entre eux sont susceptibles d'être impactés par des variations de plus de 10 % du trafic routier liées au projet car ils sont situés à proximité immédiate d'axes routiers. Les données de trafic permettent de déterminer si ces sites vulnérables sont localisés dans la bande d'étude et doivent faire l'objet d'une évaluation des risques sanitaires (ERS). Les sites faisant l'objet d'une ERS sont présentés au paragraphe VI.

## II.3 Données relatives à la qualité de l'air

### II.3.1 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). Pour la région Ile-de-France, c'est l'association Airparif qui réalise cette surveillance par l'intermédiaire 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.3.2 Station de mesure de référence

Les stations ATMO Normandie de fond urbain « Caen Chemin Vert » et de trafic « Caen Rue de Vaucelles » sont situées respectivement à environ 3 km au nord-ouest de la zone du projet et moins de 1 km au sud-ouest : elles constituent les stations les plus proches du projet (cf. figure 7). Elles sont utilisées comme stations de référence pour étudier les conditions locales de pollution atmosphérique.



Figure 7 : localisation des stations qualité de l'air de référence

Le tableau 6 présente les évolutions annuelles entre 2015 et 2019 des polluants mesurés par les stations ATMO Normandie de Caen Chemin Vert et Caen Rue de Vaucelles :

Station	Polluant	Valeur	Valeur limite	2015	2016	2017	2018	2019
Chemin Vert	NO <sub>2</sub>	Moyenne annuelle (µg/m <sup>3</sup> )	40	15	16	16	15	14
	PM <sub>10</sub>	Moyenne annuelle (µg/m <sup>3</sup> )	40	18	17	16	17	16
		Nb de jours dont la moyenne journalière < 50 µg/m <sup>3</sup>	35	6	7	5	0	2
	PM <sub>2.5</sub>	Moyenne annuelle (µg/m <sup>3</sup> )	25	10	11	9	9	9
Rue de Vaucelles	NO <sub>2</sub>	Moyenne annuelle (µg/m <sup>3</sup> )	40	26	26	27	25	25
	PM <sub>10</sub>	Moyenne annuelle (µg/m <sup>3</sup> )	40	22	21	19	21	22
		Nb de jours dont la moyenne journalière < 50 µg/m <sup>3</sup>	35	11	12	5	8	9

Tableau 6 : moyennes annuelles des concentrations en polluants sur les stations ATMO Normandie

### Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

Les teneurs en NO<sub>2</sub> relevées au niveau des stations ATMO Normandie de Caen Chemin Vert et Caen Rue de Vaucelles sont relativement stables au cours de la période 2015-2019 : elles se situent respectivement entre 14 et 16 µg/m<sup>3</sup> et 25 et 27 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle. Les moyennes annuelles mesurées respectent la valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup> sur les cinq dernières années.

### Particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>

Les concentrations en PM<sub>10</sub> mesurées par les stations ATMO Normandie de Caen Chemin Vert et de Caen Rue de Vaucelles sont également assez stables sur la période 2015-2019, avec une valeur moyenne annuelle comprise respectivement entre 16 et 18 µg/m<sup>3</sup> pour la première et 19 et 22 µg/m<sup>3</sup> pour la seconde. Les teneurs en PM<sub>10</sub> mesurées respectent donc largement la valeur réglementaire fixée à 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle. De même, le seuil réglementaire établi à un maximum de 35 jours de dépassement de la moyenne journalière de 50 µg/m<sup>3</sup> est largement respecté chaque année 2 jours de dépassement en 2019 au niveau de la station « Chemin Vert » et 9 au niveau de la station « Rue de Vaucelles ».

Concernant les particules PM<sub>2.5</sub>, le seuil réglementaire établi à 25 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle est respectée sur les 5 dernières années au niveau de la station de fond urbain Caen Chemin Vert.

### Conclusion

Ces résultats ne laissent pas envisager de dépassement des valeurs réglementaires concernant les concentrations de NO<sub>2</sub> et de particules fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) dans l'environnement du projet. Cependant une campagne de mesure in situ est réalisée afin d'étudier plus précisément la répartition des concentrations en NO<sub>2</sub> (principal composé émis par le trafic routier) au niveau local notamment au niveau des points de trafic et de mieux définir l'impact initial de la zone sur les populations environnantes.

### II.3.3] 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<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>.

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 km<sup>2</sup> 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<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub> de 5 µg/m<sup>3</sup> sur cette zone d'étude permettrait d'éviter :

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

## II.4 Les plans de prévention de la pollution atmosphérique

### II.4.1] Les différents plans

La prévention de la pollution atmosphérique à l'échelle d'un territoire est principalement traitée au travers de la mise en œuvre de divers plans et schémas dans lesquels le projet d'aménagement doit s'inscrire en cohérence avec les différentes actions et/ou orientations qui les composent.

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 par le Conseil National de l'Air (CNA). Inscrit dans l'article 64 dans la LTECV, le PREPA caractérise des mesures et leurs modalités d'application pour réduire sur la période 2017-2021 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... Parmi eux, les mesures visant le secteur du transport et la mobilité sont les suivantes :

- Faire converger la fiscalité entre l'essence et le gazole
- Aligner les régimes de déductibilité de la TVA entre essence et gazole
- Encourager les mobilités actives et les transports partagés
- Inciter l'utilisation du vélo
- Mettre en œuvre des zones à circulation restreinte (ZCR)
- Imposer les certificats qualité de l'air (Crit'Air) dans les zones à circulation restreinte (ZCR) et les zones visées par la circulation différenciée

- Encourager la conversion des véhicules les plus polluants et l'achat des véhicules les plus propres
- Développer des infrastructures pour les carburants propres au titre du cadre national pour les carburants alternatifs
- Renouveler le parc public par des véhicules faiblement émetteurs (selon l'article 37 de la loi de la transition énergétique)
- Renforcer le contrôle des émissions des véhicules et engins non routiers
- Contrôler les émissions réelles des véhicules routiers
- Renforcer le contrôle technique des véhicules (article 65 de la loi de transition énergétique)
- Soutenir l'adoption de nouvelles normes européennes ambitieuses (normes antipollution, prise en compte des conditions réelles de conduite et amélioration de la procédure d'homologation)

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 SRCAE 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

Le Plan National Santé Environnement (PNSE) est un plan qui, conformément à l'article L. 1311 du code de la santé publique, doit être renouvelé tous les cinq ans. Le **troisième Plan National en Santé Environnement (PNSE3)** établit pour la période 2015-2019, précise les actions à mener pour réduire les impacts des facteurs environnementaux sur la santé. Il permet de poursuivre les actions conduites par les deux premiers plans d'actions (PNSE de 2004 à 2008, PNSE2 de 2009 à 2013). Il comprend 107 actions qui s'articulent autour de 4 grandes catégories d'enjeux :

- Enjeux de santé prioritaires
- Enjeux de connaissance des expositions et de leurs effets
- Enjeux pour la recherche en santé environnement
- Enjeux pour les actions territoriales, l'information, la communication, et la formation

Au travers ces différents enjeux, le PNSE3 contient trois actions relatives à la qualité de l'air extérieur :

- L'action 50 prévoit d'élaborer un nouveau programme de réduction des émissions de polluants atmosphériques nocifs pour la santé et ayant un impact sur le climat.
- L'action 51 vise la réduction des émissions liées aux secteurs résidentiel et agricole.
- L'action 52 cherche à améliorer les connaissances liées à la qualité de l'air à différentes échelles et mieux caractériser les sources.

Le **Plan Régional Santé Environnement 3 (PRSE3) de Normandie**, établi sur la période 2017-2021, 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

La réalisation d'un **Plan Climat-air-énergie territorial (PCAET)** est obligatoire à l'ensemble des intercommunalités de plus de 50 000 habitants en 2017 et de plus de 20 000 habitants en 2019. Ainsi en 2018 Caen Normandie Métropole a débuté l'élaboration d'un PCAET mais ce dernier n'est pas encore disponible à l'heure de la rédaction de la présente étude.

Enfin, le projet ne se situe pas dans une zone couverte par un **Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)**.

#### II.4.2) Cohérence du projet

L'étude d'impact concernant l'aménagement du projet, en particulier l'état initial documentaire de la présente étude air et santé, s'inscrit dans en cohérence avec le SRCAE puisque ce dernier contribue à améliorer et diffuser la connaissance de la thématique « qualité de l'air » à l'ensemble du territoire.

L'étude air et santé s'inscrit également en cohérence avec l'axe 1 et 4 du PRSE3 dans la prise en compte de la santé dans la mise en œuvre des politiques d'aménagement en Normandie.

Le projet s'inscrit également en cohérence avec certaines mesures du PDU (axes n°1, 2, 5 et 6) dans la mesure où ce dernier prévoit :

- De favoriser la mobilité douce, notamment les déplacements à vélo et diminuer ainsi l'utilisation de la voiture dans les centres urbains en équipant toutes les voiries principales de pistes cyclables indépendantes et de trottoirs. La fluidité du trafic cycliste et la sécurité des usagers seront également prises en compte, notamment par la mise en place de structures proposant des largeurs adaptées.
- La réalisation de la ligne 2 du tramway qui est déjà enclenchée et permettra d'assurer la desserte en transport en commun de la pointe de la Presqu'île, ainsi que sa prolongation afin d'assurer la traversée centrale de la Presqu'île jusqu'à un terminus temporaire en limite Est du secteur du Nouveau Bassin.

Enfin, l'étude air et santé contribue à la réalisation de l'action 52 du PNS3 à l'échelle locale.

### III. ETAT INITIAL : CAMPAGNE DE MESURE

#### III.1 Méthodologie

##### III.1.1) Polluants mesurés

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 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<sub>2</sub>). Pour les études de niveau II ou supérieur, des mesures complémentaires de particules PM<sub>10</sub> peuvent être réalisées sur demande de l'autorité environnementale. En l'absence de spécifications dans le cadre de ce projet, seul le NO<sub>2</sub> est intégré aux mesures.

##### III.1.2) Mesure du dioxyde d'azote

Le principe de la mesure est celui de la diffusion naturelle de l'air à travers une cartouche contenant un adsorbant spécifique au NO<sub>2</sub> (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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> de 1 à 200 µg/m<sup>3</sup> avec une limite de quantification de 0,8 µg/m<sup>3</sup>.

#### III.2 Plan d'échantillonnage

##### III.2.1) Points de mesure

Différentes typologies de points de mesure sont définies pour les évaluations de la qualité de l'air :

- Points de trafic (T) : implantés à proximité des voies présentant le trafic routier le plus important. Ils permettent de connaître les teneurs maximales en certains polluants auxquelles la population peut être exposée ponctuellement (piétons).
- Points de fond (F) : éloignés des principales sources de pollution atmosphérique de proximité. Ils permettent de caractériser l'exposition chronique des populations.
- Points influencés (I) : lorsque les points ne sont pas suffisamment proches ou éloignés d'un axe, ils sont dits influencés.

En tenant compte de ces paramètres et de la dimension du projet, l'échantillonnage est établi pour **9 points de mesure de NO<sub>2</sub>**.

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<sub>2</sub>.

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°	Type	Polluant(s) mesuré(s)	Localisation
P1	Trafic	NO <sub>2</sub>	Avenue de Tourville
P2	Fond urbain	NO <sub>2</sub>	Rue de Cardiff
P3	Trafic	NO <sub>2</sub>	Cours Caffarelli
P4	Trafic	NO <sub>2</sub>	Cours Montalivet
P5	Trafic	NO <sub>2</sub>	Avenue Victor Hugo
P6	Fond urbain	NO <sub>2</sub>	Chaussée d'Algérie
P7	Fond urbain	NO <sub>2</sub>	Rue Gaston Lamy
P8	Fond urbain	NO <sub>2</sub>	Avenue de l'Orne
P9	Fond urbain	NO <sub>2</sub>	Voie 810

Tableau 7 : plan d'échantillonnage

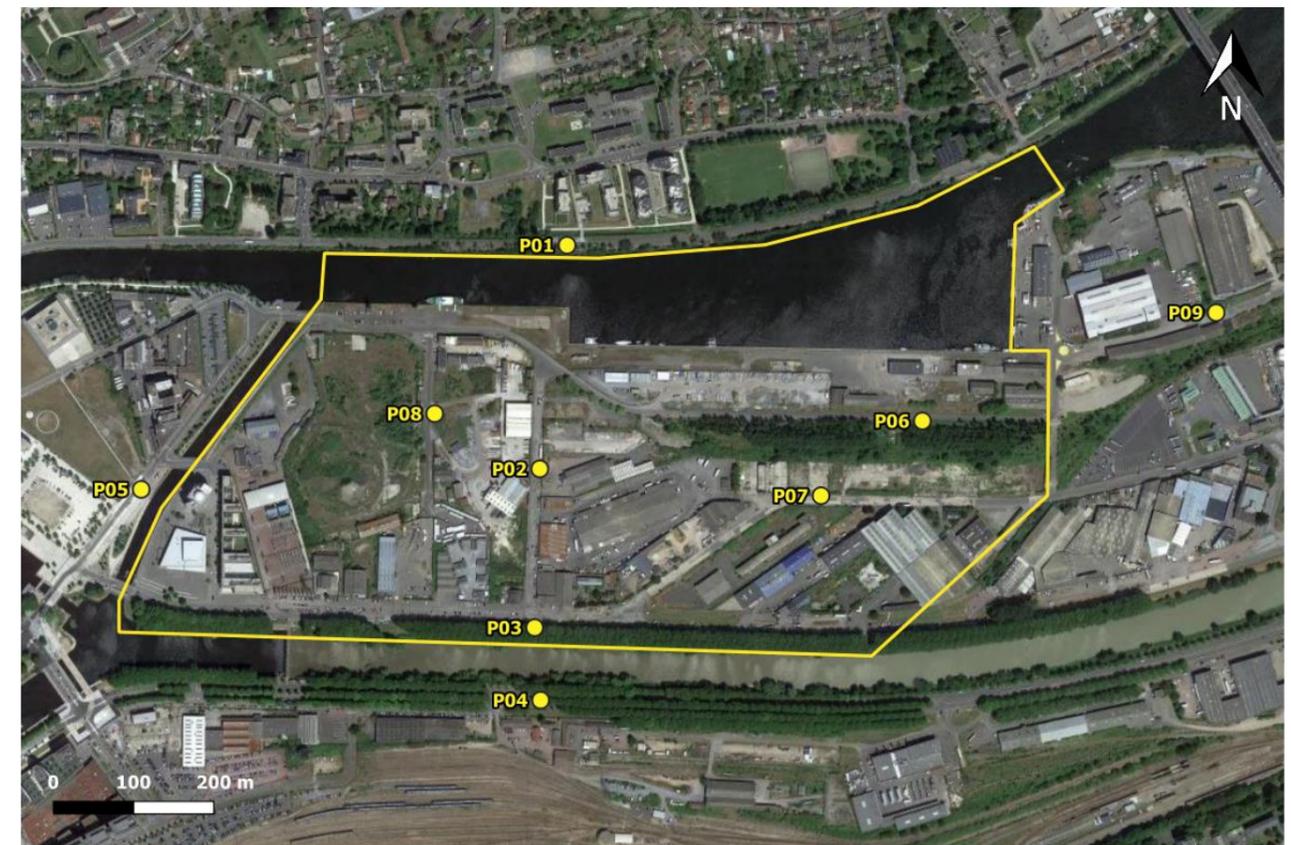


Figure 8 : plan d'échantillonnage

##### III.2.2) Période de mesure

Les concentrations en polluants atmosphériques présentent un comportement saisonnier marqué. 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 **26 novembre 2020** au **10 décembre 2020**.

### III.3 Stations de référence

#### III.3.1) Météorologie

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<sub>x</sub>, 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).

Pour étudier l'influence de ces paramètres, les conditions météorologiques lors de chaque campagne de mesure sont comparées aux normales saisonnières. Les normales sont constituées des observations de Météo France réalisées de 1981 à 2011 et, par conséquent, ne sont disponibles qu'auprès des stations météorologiques implantées depuis plus de 30 ans. La station la plus proche du site présentant ces données est celle de Caen-Carpique, située à environ 7 km à l'ouest du projet. Les données de vent au cours de la campagne sont également acquises auprès de cette station. La figure 9 illustre la localisation de la station météorologique utilisée par rapport à la zone de projet.



Figure 9 : localisation de la station météorologique de référence

#### III.3.2) Pollution atmosphérique

L'étude des données enregistrées par le réseau local de surveillance de la qualité de l'air (Atmo Normandie) permet d'appréhender les conditions de pollution atmosphérique au cours des mesures par rapport à la moyenne annuelle.

Dans le cadre de cette étude, les stations utilisées sont les suivantes :

- Station « Caen Chemin Vert » : mesures de NO<sub>2</sub> en typologie de fond urbain, située à environ 3 km au nord-ouest du projet.
- Station « Caen Rue de Vaucelles » : mesures de NO<sub>2</sub> en typologie de trafic, située à environ 1 km au sud-ouest du projet.

La localisation des stations par rapport à la zone d'étude est indiquée sur la figure 10.

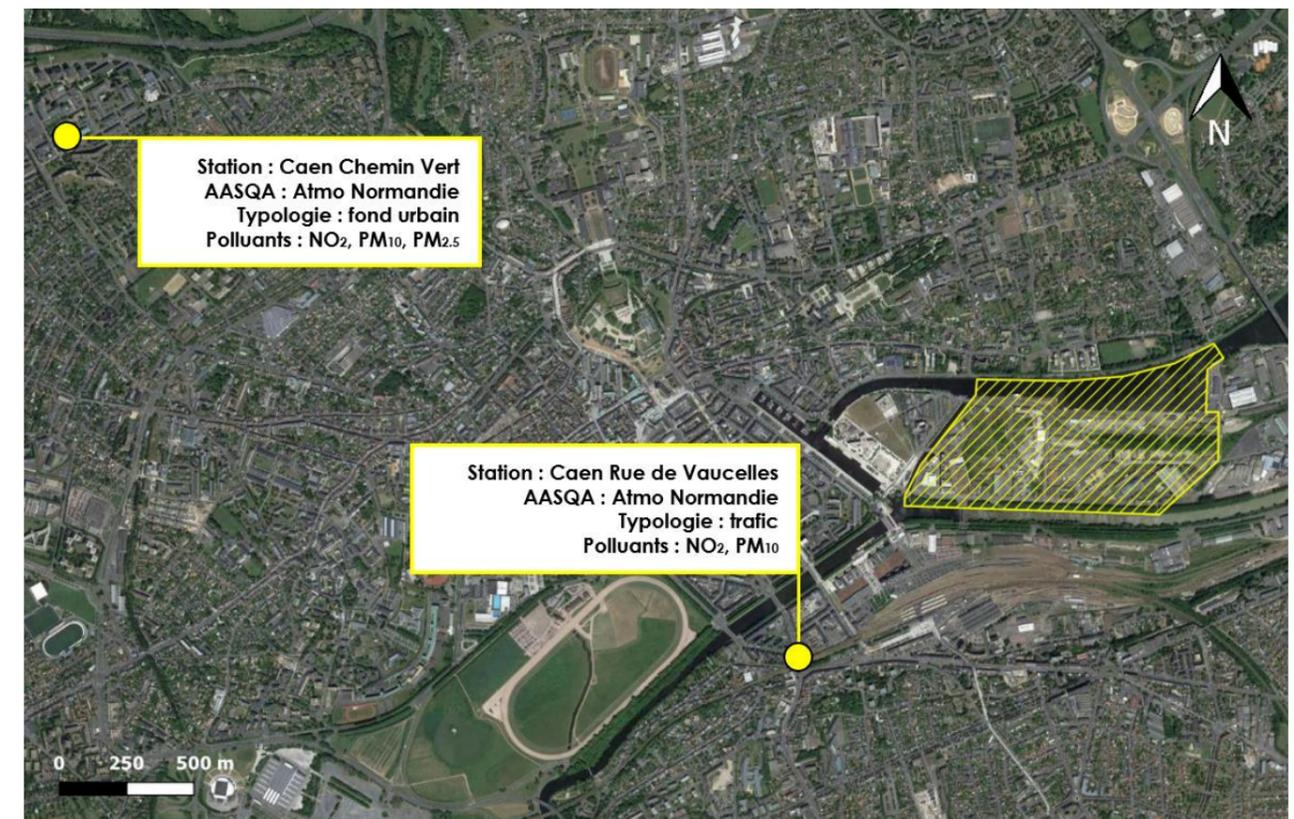


Figure 10 : localisation des stations AASQA de référence

### III.4 Conditions lors de la campagne

#### III.4.1) 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.

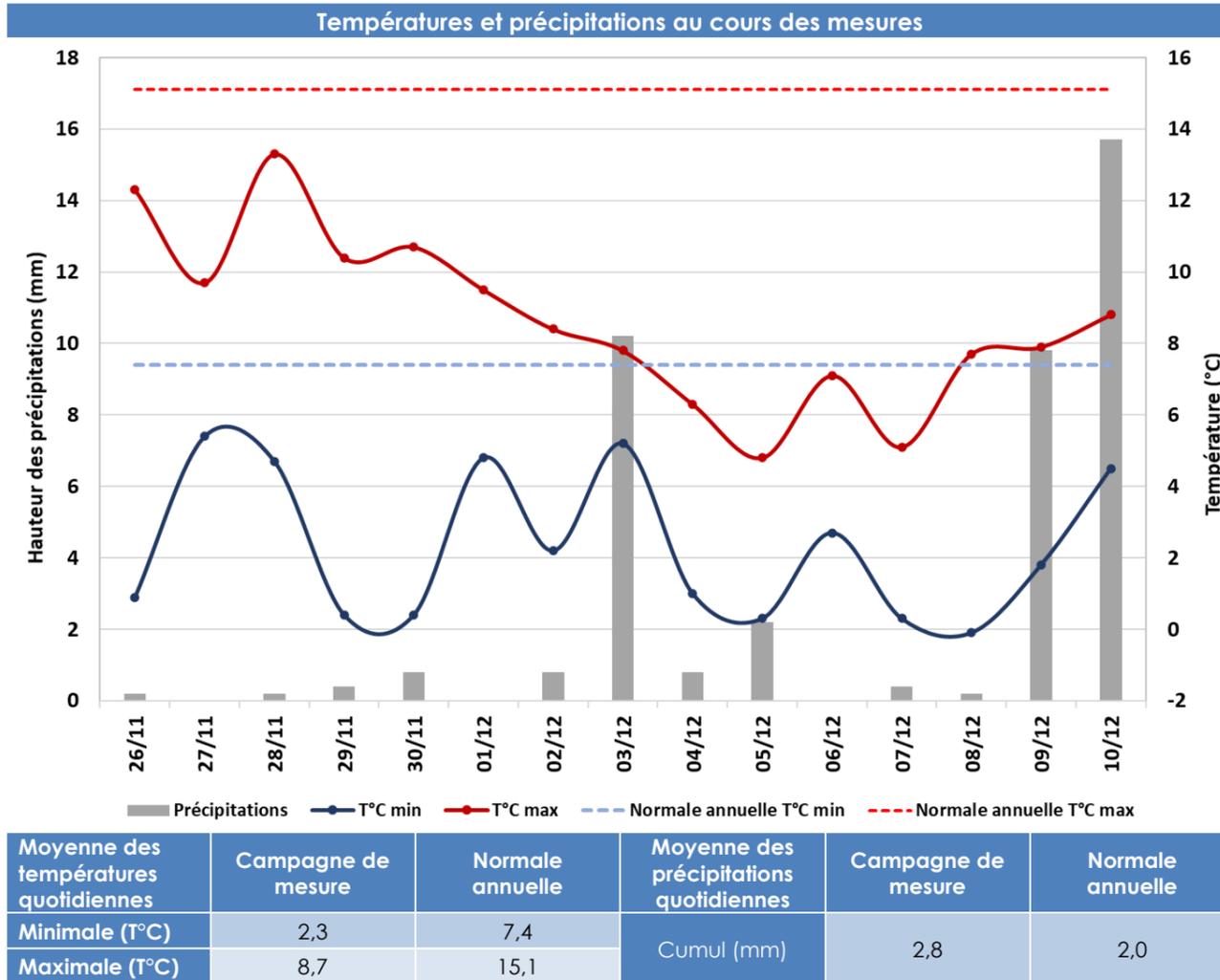


Figure 11 : étude des températures et précipitations (données : Météo France)

Les températures relevées lors de la campagne de mesure sont largement inférieures aux normales, indiquant des conditions propices à une augmentation des concentrations en NO<sub>2</sub> par rapport à la moyenne annuelle. Cependant les précipitations sont plus importantes que les normales ce qui peut contribuer sur la période de mesure à une légère diminution des concentrations en polluants par rapport à la moyenne annuelle.

#### III.4.2) Conditions de vent

Les conditions de vents sont représentées par une rose des vents<sup>2</sup> établie à partir de leur fréquence d'apparition en fonction de leur direction et de leur vitesse :

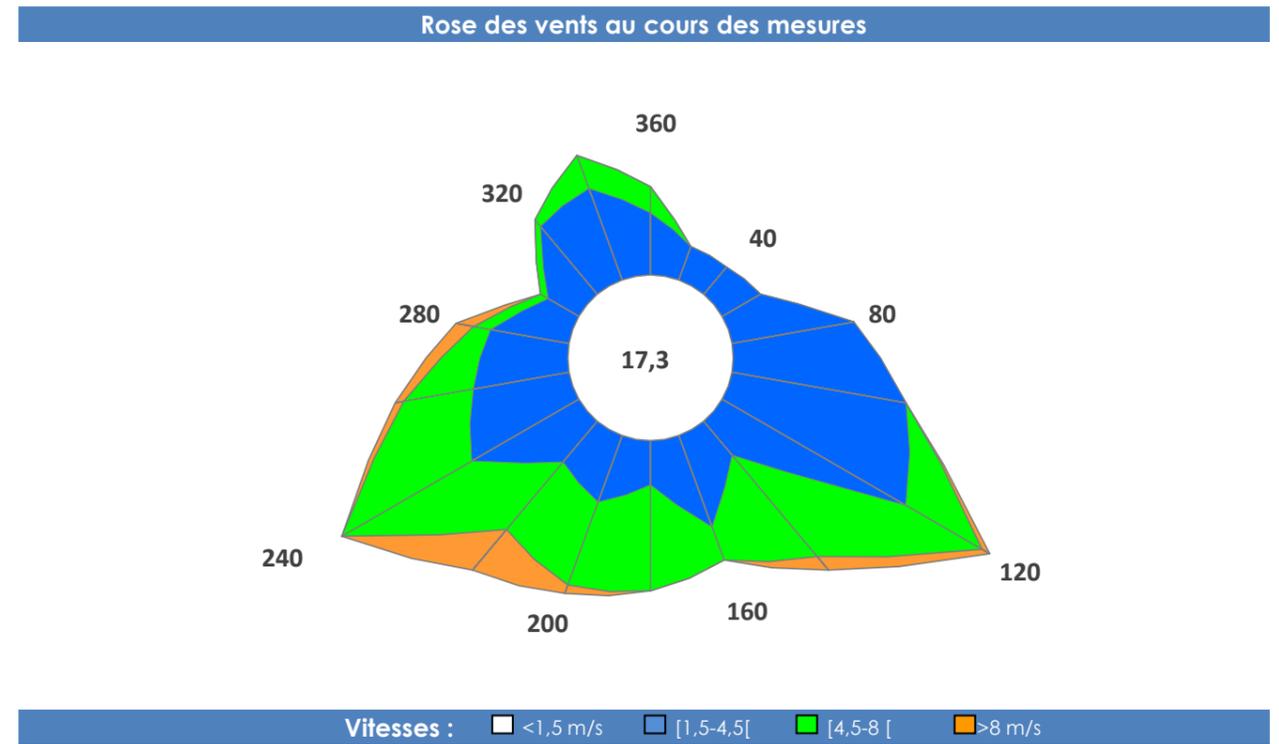


Figure 12 : étude des conditions de vent (données : Météo France)

La rose des vents est caractérisée par un secteur sud-ouest et sud-est majoritaires ainsi qu'un secteur nord-nord-ouest minoritaire, n'indiquant pas un impact potentiel marqué sur un secteur en particulier par rapport aux routiers les plus fréquentés mais une diffusion plus erratique. Par ailleurs les vitesses de vents relevées pendant la campagne sont relativement élevées (environ 50 % des vitesses de vent relevées sont supérieures à 4,5 m/s), ce qui indique des conditions de dispersion élevées des polluants atmosphériques dans la zone du projet au cours de la période de mesure.

#### III.4.3) Pollution atmosphérique

Les valeurs enregistrées sur l'année 2019 et la période correspondant à la campagne de mesure sont comparées dans le tableau ci-dessous :

Station	Polluant	Moyenne Campagne (µg/m <sup>3</sup> )	Moyenne Année 2019 (µg/m <sup>3</sup> )	Ecart Campagne / 2019
Caen Chemin Vert	NO <sub>2</sub>	21,1	14	51 %
Caen Rue de Vaucelles	NO <sub>2</sub>	28,8	25	15 %

Tableau 8 : étude des données AASQA

En lien avec les températures froides, et malgré des conditions de dispersion élevées, les teneurs en NO<sub>2</sub> sont plus fortes lors de la campagne de mesure qu'en moyenne annuelle (entre +15 % en typologie de trafic et +51 % en typologie de fond urbain).

<sup>2</sup> 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.

### III.5 Résultats

#### III.5.1) 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<sup>3</sup> 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 <sub>2</sub>
Concentration du blanc pour une exposition théorique de 2 semaines	< 0,4 µg/m <sup>3</sup>
Concentration moyenne doublet	24,1 µg/m <sup>3</sup>
Ecart standard du doublet	0,8 %
Incertitude théorique élargie (donnée Passam)	19,0 %

Tableau 9 : facteurs de validité des mesures

Les concentrations mesurées en NO<sub>2</sub> sur les blancs sont inférieures à la limite de détection, indiquant l'absence de contamination des supports. L'incertitude élargie représente l'écart maximal pouvant être obtenu sur une mesure en incluant tous les biais potentiels liés au prélèvement et à l'analyse avec un intervalle de confiance de 95 %. L'écart standard calculé sur les résultats du doublet est largement inférieur à cette incertitude et indique donc une bonne répétabilité de la mesure.

#### III.5.2) Concentrations en NO<sub>2</sub>

Le tableau suivant présente les résultats obtenus par point de mesure :

Point de mesure	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Typologie	T	T	T	T	T	F	F	F	F
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	26,2	25,4	29,4	36,4	28,9	24,5	25,0	24,1	24,8

Tableau 10 : résultats des mesures pour le NO<sub>2</sub>

#### III.5.3) Cartographie des résultats

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

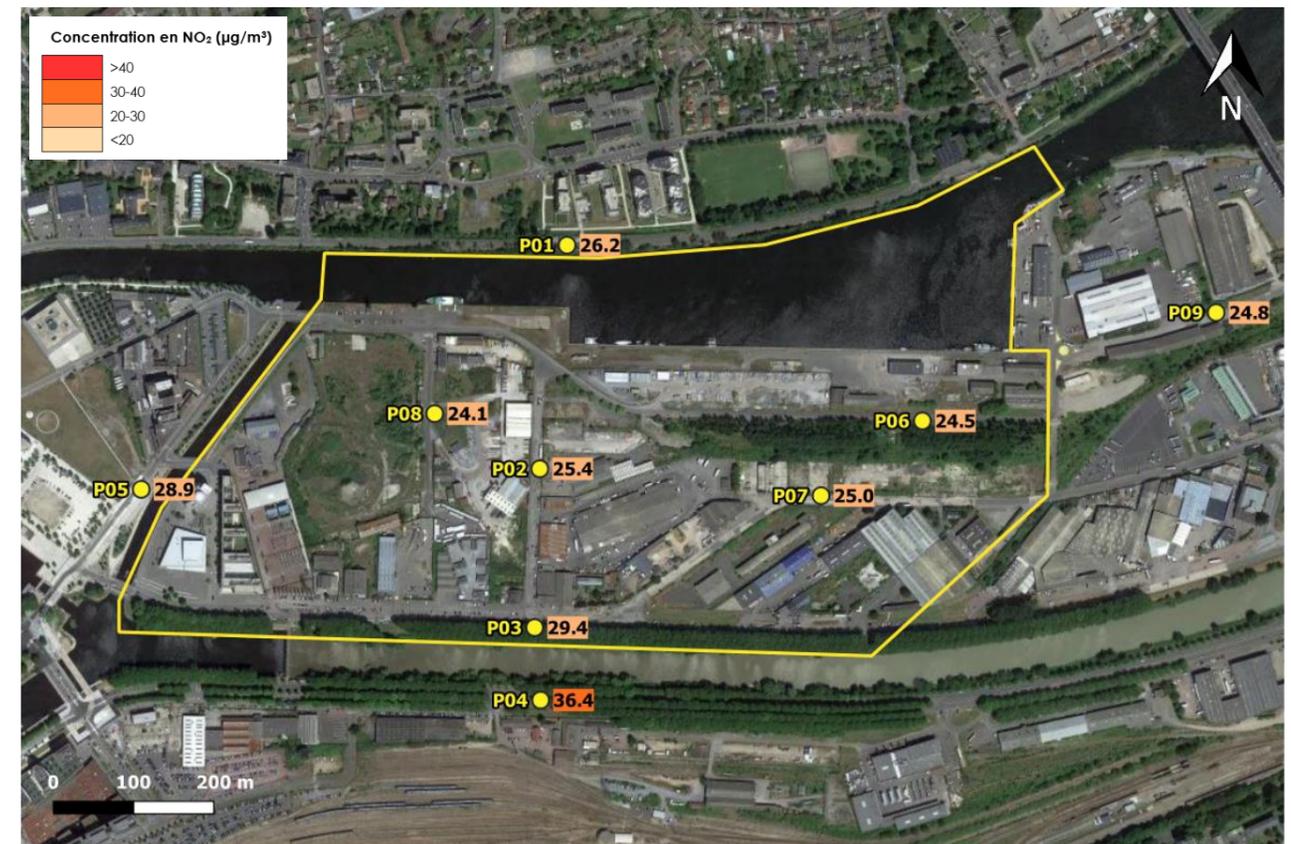


Figure 13 : cartographie des résultats

La cartographie des résultats indique des concentrations en NO<sub>2</sub> dans l'emprise du projet relativement modérées, avec des valeurs comprises entre 24,1 et 29,4 µg/m<sup>3</sup>. Les points de trafic P1, P3, P4 et P5 présentent les concentrations les plus élevées, avec des valeurs supérieures à 26 µg/m<sup>3</sup>, ce qui s'explique par la proximité de ces points avec les axes routiers les plus fréquentés, notamment le point P4 situé en bordure immédiate du Cours Caffarelli qui présente la valeur maximale de 36,4 µg/m<sup>3</sup>. Les points de fond (P2, P6, P7 et P8), caractéristiques de l'exposition chronique de la future population à la pollution, enregistrent les concentrations les plus faibles sur la zone (inférieures ou égales à 25 µg/m<sup>3</sup>) ce qui s'explique par leur éloignement plus important par rapport aux principaux axes routiers.

<sup>3</sup> 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.6 Comparaison à la réglementation

#### III.6.1) Cadre réglementaire

Les valeurs utilisées pour comparer les résultats de la campagne de mesure à la réglementation sont issues du décret n°2010-1250 (cf. annexe 1). La comparaison aux moyennes annuelles est réalisée uniquement à titre indicatif étant donné que les résultats ne sont représentatifs que de deux semaines de mesure<sup>4</sup> et que les projets d'aménagement ne sont pas soumis au respect de ce type de valeurs<sup>5</sup>.

#### III.6.2) Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)



Figure 14 : comparaison des résultats des mesures NO<sub>2</sub> à la réglementation

La distribution des concentrations est cohérente avec la typologie des points de mesure. Aucun point ne présente de concentration supérieure à la valeur limite de 40 µg/m<sup>3</sup>. De plus, la campagne de mesure se caractérise par des teneurs en NO<sub>2</sub> plus fortes d'environ 15 % (pour les points de trafic) à 51 % (pour les points de fond) par rapport à la moyenne annuelle, ce qui ne laisse envisager aucun dépassement des valeurs réglementaires à l'échelle annuelle dans la zone de projet.

## IV. EFFETS DU PROJET : ESTIMATION DES EMISSIONS POLLUANTES

### IV.1 Méthodologie

#### IV.1.1) Polluants estimés

Conformément au guide méthodologique issu de la note technique du 22 février 2019, les polluants étudiés pour une étude de niveau II sont les suivants :

- Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)
- Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)
- Le monoxyde de carbone (CO)
- Le benzo[a]pyrène
- Les composés Organiques Volatils (COV)
- Le benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)
- Les particules émises à l'échappement (PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>)
- L'arsenic (As) et le nickel (Ni)

En plus des espèces recommandées par la note technique du 22 février 2019 sont également calculées les émissions de CO<sub>2</sub> qui n'est pas nocif pour la santé mais participe à l'effet de serre et la consommation énergétique.

#### IV.1.2) Facteurs d'émissions unitaires

On appelle "facteur d'émission" les quantités de polluants en g/km rejetées par un 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 :

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

Les facteurs d'émissions utilisés pour l'étude sont ceux 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.

Pour les scénarios étudiés, les facteurs d'émissions sont déterminés à partir d'une reconstitution prenant en compte l'évolution des normes pour chaque catégorie de véhicule et leur date d'introduction progressive dans le parc roulant sur la base des données statistiques **fournie par l'IFSTTAR**<sup>6</sup>. Le modèle de calcul des émissions utilisé est le logiciel **TREFFIC™** (TRaffic Emission Factors Improved Calculation).

#### IV.1.3) Scénarios considérés

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

- La situation actuelle (2020)
- La situation future sans projet (2024)
- La situation future avec projet (2024)

**NB :** Les statistiques IFSTTAR ne couvrent pas les années postérieures à 2030. Dans le cas des scénarios plus lointains, la composition du parc roulant est donc considérée équivalente à celle de 2030.

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> « Dynamique de renouvellement du parc automobile - Projection et impact environnemental », Zéhir KOLLI, Thèse pour le doctorat en Sciences Economiques, 2012.

« Statistiques de parcs et trafic pour le calcul des émissions de polluants des transports routiers en France », Michel ANDRÉ, Anne-Laure ROCHE, Lauréline BOURCIER, Rapport IFSTTAR-LTE, janvier 2013 (révision mars 2014).

#### IV.1.4) Données de trafic

Les hypothèses suivantes sont prises par Rincent Air pour compléter les données issues de l'étude de circulation de Transitec, référencée « 9332\_150-rap-lvi-2-phases1-4 ».

- o En l'absence de données TMJA sur les 3 scénarios, les données « Heures de pointe soir (HPS) » sont converties selon la formule :  $TMJA = HPS \times 10$ .
- o La vitesse de circulation de tous les véhicules est considérée égale à la vitesse maximale autorisée sur chaque brin pour l'ensemble des scénarios.
- o Pour les axes où les HPS sont non renseignées par l'étude trafic sur un scénario, le ratio estimé sur un autre brin disponible est utilisé pour déterminer les données manquantes.

Le tableau 11 présente l'ensemble des données de trafic considérées :

N°	Rue	TMJA						Vitesse	
		Actuel		Sans projet		Avec projet		Avec projet	Sans projet
		VL	PL	VL	PL	VL	PL	km/h	km/h
1	Cours Montalivet	29280	1220	25248	1052	28896	1204	70	70
2	Pont Alexandre Stirn	15839	1011	17193	1097	18377	1173	50	50
3	Pont de l'Ecluse	8272	528	9626	614	9626	614	50	50
4	Cours Caffarelli 1	3588	312	3588	312	6900	600	50	50
5	Cours Caffarelli 2	3588	312	3588	312	6900	600	50	50
6	Cours Caffarelli 3	3588	312	3588	312	6900	600	50	50
7	Cours Caffarelli 4	3588	312	3588	312	6900	600	50	50
8	Voie 810	1746	54	1746	54	4559	141	50	50
9	Chaussée d'Alger	1989	62	1989	62	6354	197	50	30
10	Quai de Normandie	1989	62	1989	62	6354	197	50	30
11	Avenue Victor Hugo	5978	122	6958	142	6958	142	50	50
12	Rue Dumont d'Urville	8217	83	8217	83	11979	121	50	50
13	Avenue de Tourville	8217	83	8217	83	12474	126	50	50
14	Quai Vendeuvre	12831	819	12831	819	15369	981	50	50

Tableau 11 : données de trafic

#### IV.1.5) Bande d'étude

Les données de trafic permettent de définir la bande d'étude conformément au tableau 12 :

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
$25\ 000 > T \leq 50\ 000$	400
$10\ 000 > T \leq 25\ 000$	300
$\leq 10\ 000$	200

Tableau 12 : définition de la bande d'étude (note technique du 22/02/2019)

La figure 15 présente la bande d'étude qui en résulte :

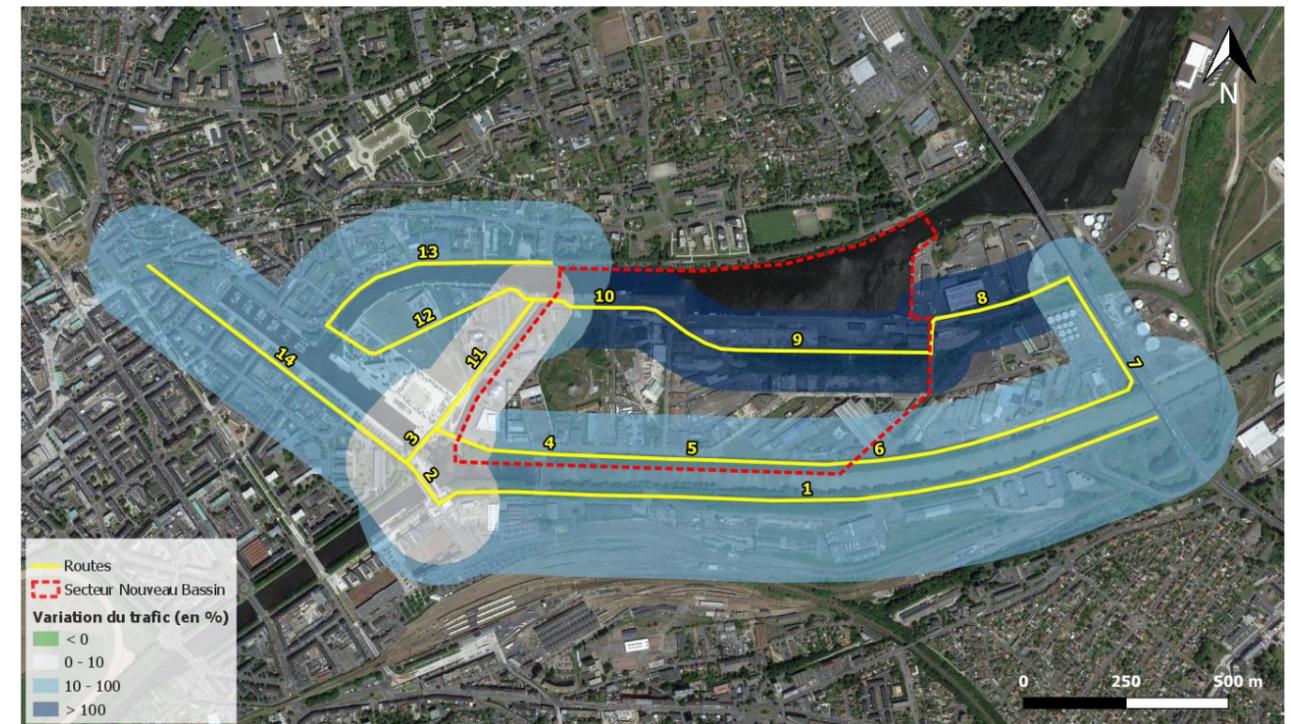


Figure 15 : bande d'étude

## IV.2 Résultats

### IV.2.1) Emissions polluantes globales

Le tableau 13 présente les émissions totales pour l'ensemble du réseau routier considéré pour l'état actuel (2020) et l'état futur à l'horizon de mise en service du projet (2024) :

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	tép/j	4,8127	4,4211	-8,1%	5,8604	21,8 %	32,6 %
CO <sub>2</sub>	t/j	15,2538	14,0124	-8,1%	18,5745	21,8 %	32,6 %
NO <sub>x</sub>	kg/j	34,5742	22,9361	-33,7%	30,6029	-11,5 %	33,4 %
CO	kg/j	24,9695	15,7209	-37,0%	20,6289	-17,4 %	31,2 %
SO <sub>2</sub>	kg/j	0,3802	0,3443	-9,5%	0,4565	20,1 %	32,6 %
COVNM	kg/j	1,3023	0,5420	-58,4%	0,7202	-44,7 %	32,9 %
PM <sub>10</sub>	kg/j	2,9243	2,4348	-16,7%	3,2522	11,2 %	33,6 %
PM <sub>2,5</sub>	kg/j	1,9609	1,5357	-21,7%	2,0504	4,6 %	33,5 %
Benzène	g/j	46,4443	20,3745	-56,1%	26,8355	-42,2 %	31,7 %
Benzo[a]pyrène	g/j	0,0939	0,0761	-19,0%	0,1002	6,8 %	31,8 %
Arsenic	g/j	0,0014	0,0013	-9,2%	0,0017	20,3 %	32,6 %
Nickel	g/j	0,0109	0,0099	-9,6%	0,0131	19,8 %	32,6 %

Tableau 13 : bilan des émissions

Bien que les données de circulation indiquent un trafic quasiment constant sur l'ensemble de la zone entre le scénario actuel et le scénario futur sans projet, une baisse globale des émissions peut être constatée. Celle-ci s'explique par les hypothèses de mise en circulation de véhicules moins polluants entre 2020 et 2024 sur la base des données IFSTTAR.

La variation du trafic routier dans la zone d'étude pour le scénario futur avec projet entraîne une hausse globale des émissions par rapport au scénario futur sans projet, comprises entre 31,2 % pour le CO et 33,6 % pour les PM<sub>10</sub>. Cette hausse est principalement due à une augmentation du trafic sur la quasi-totalité des brins étudiés.

**Globalement le scénario « avec projet » entraîne une augmentation d'environ 32,6 % des émissions polluantes par rapport au scénario « sans projet » à l'horizon 2024.**

### IV.2.2) Cartographie des émissions

En retenant les NO<sub>x</sub> 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 le scénario actuel, futur sans projet et futur avec projet.

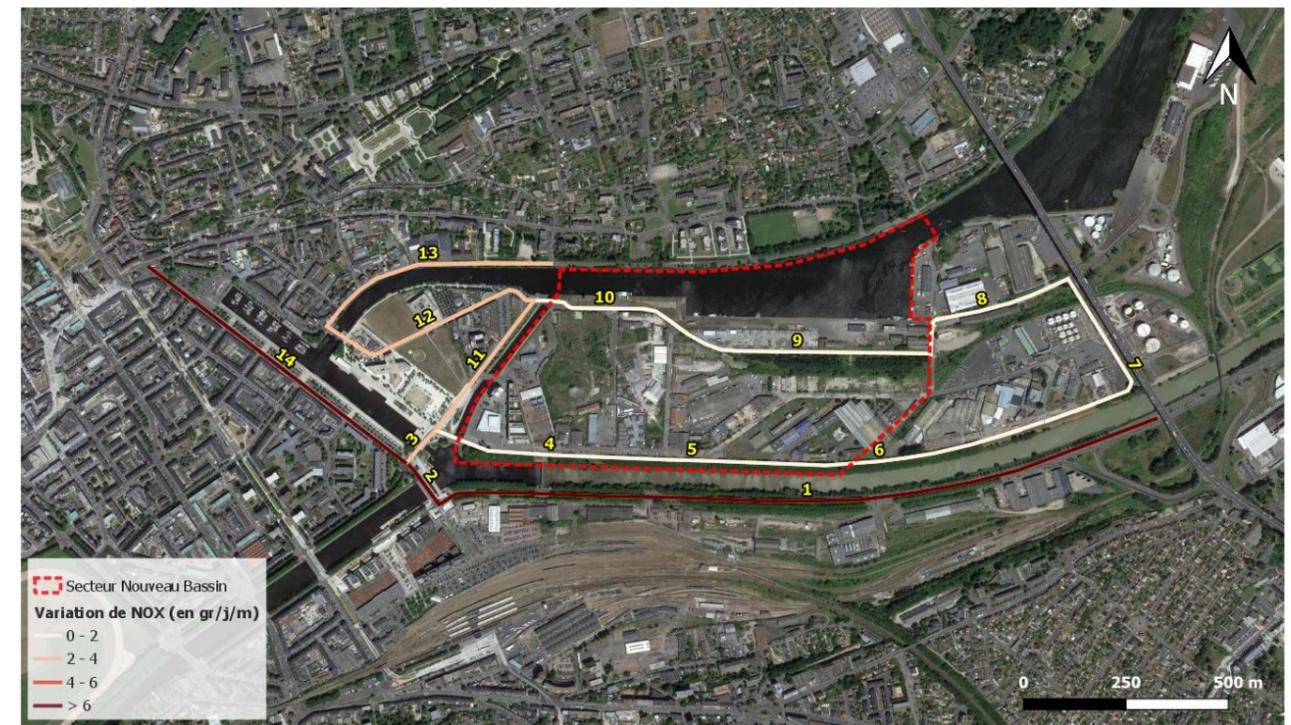
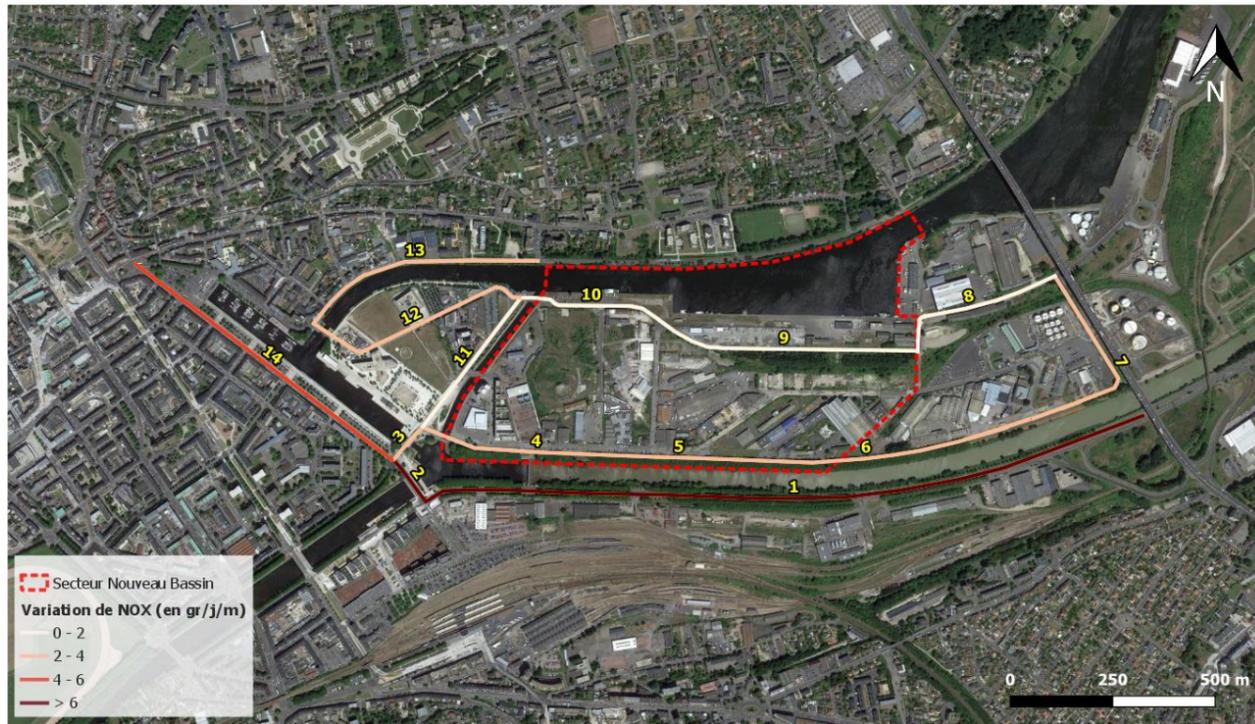


Figure 16 : émissions de NO<sub>x</sub> – scénario actuel

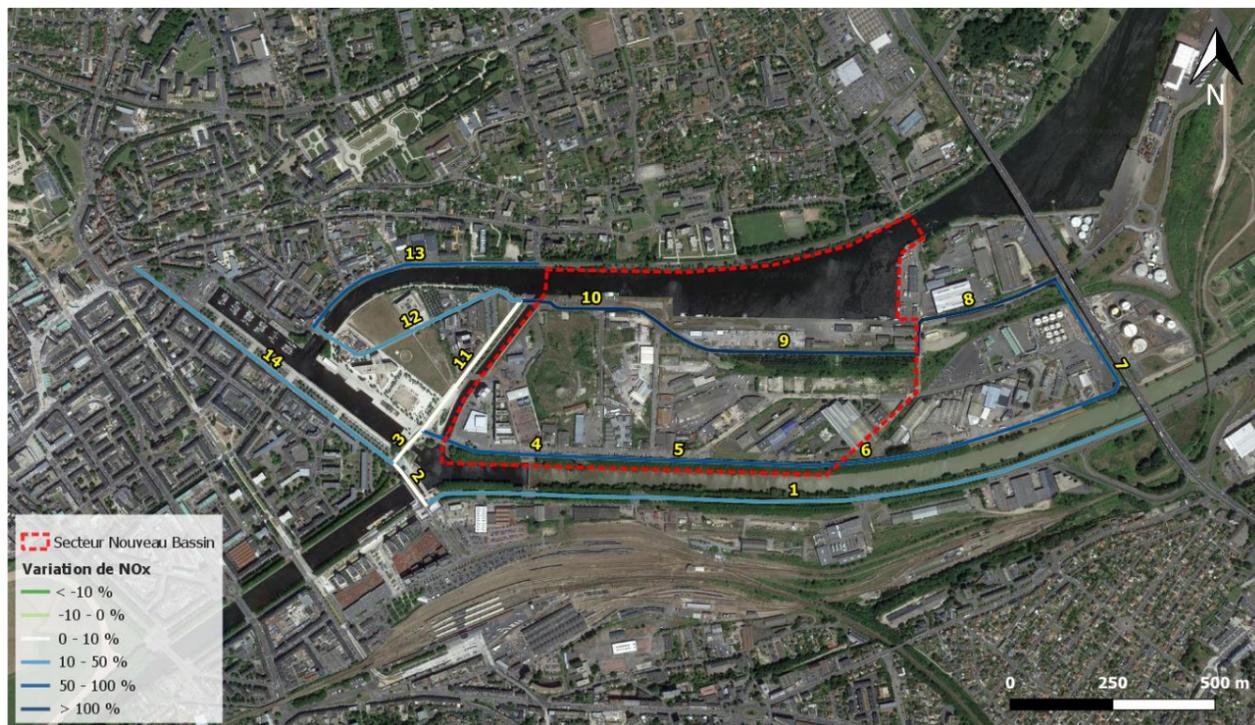


Figure 17 : émissions de NO<sub>x</sub> – scénario futur sans projet


 Figure 18 : émissions de NO<sub>x</sub> – scénario futur avec projet

#### IV.2.3) Etude des variations liées au projet

La figure suivante présente les variations des émissions de NO<sub>x</sub> entre les scénarios avec et sans projet à l'horizon 2024 :


 Figure 19 : variation émissions de NO<sub>x</sub> avec / sans projet

Le tableau ci-dessous reprend les valeurs numériques des émissions de NO<sub>x</sub> par jour et par mètre sur chaque axe :

N°	Rue	Emissions de NO <sub>x</sub> (g/j/m)			Variation Futur avec/sans projet (%)
		Actuel	Sans projet	Avec projet	
1	Cours Montalivet	10,8	6,6	7,6	15,2
2	Pont Alexandre Stirn	7,6	5,7	6,1	7,0
3	Pont de l'Ecluse	3,9	3,2	3,2	0,0
4	Cours Caffarelli 1	1,9	1,3	2,5	92,3
5	Cours Caffarelli 2	1,9	1,3	2,5	92,3
6	Cours Caffarelli 3	1,9	1,3	2,5	92,3
7	Cours Caffarelli 4	1,9	1,3	2,5	92,3
8	Voie 810	0,7	0,5	1,3	160,0
9	Chaussée d'Alger	0,8	0,6	1,8	200,0
10	Quai de Normandie	0,8	0,6	1,9	216,7
11	Avenue Victor Hugo	2,2	1,9	1,9	0,0
12	Rue Dumont d'Urville	2,8	2,2	3,1	40,9
13	Avenue de Tourville	2,8	2,2	3,3	50,0
14	Quai Venduvre	6,1	4,2	5,1	21,4

 Tableau 14 : récapitulatif des émissions de NO<sub>x</sub> par brins routiers

Les variations d'émissions les plus importantes (supérieures à 50 %) liées au projet sont observées sur une majorité des axes pris en compte, néanmoins leurs émissions restent faibles à modérées (inférieures à ou égales à environ 3 g/j/m). Les émissions les plus importantes de la zone (de 5,1 à 7,6 g/j/m) se situent sur les axes plus faiblement impactés par le projet (de 7 à 21 % environ) : cours Montalivet, pont Alexandre Stirn et quai Venduvre. Par ailleurs les émissions de NO<sub>x</sub> sur ces axes restent plus faibles à l'horizon futur (2024) avec projet qu'à l'état actuel (2020).

### IV.3 Monétarisation des coûts

#### IV.3.1) Coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique

L'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances induits pour la collectivité dans les études d'impact a été introduite via le décret n°2003-767 du 1<sup>er</sup> 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 publics* » de septembre 2013.

Le rapport fournit des valeurs tutélaires du coût des impacts sanitaires des polluants émis par la circulation routière pour l'année de référence 2010. Le tableau 15 présente ces valeurs pour les émissions de PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM et SO<sub>2</sub> du parc roulant de 2010 pour les catégories de véhicules VP (véhicules particuliers) et PL (poids lourds) qui sont celles renseignées par l'étude de circulation.

€2010/100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VP	11,1	3,1	1,3	1,0	0,9
PL diesel	186,6	37,0	17,7	9,4	6,4

Tableau 15 : valeurs tutélaires du coût de la pollution liée au trafic routier

Les valeurs tutélaires sont modulées en fonction de la densité de population située à proximité du projet. La définition des différentes zones est décrite dans le tableau 16.

hab/km <sup>2</sup>	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette	< 37	37-450	450-1 500	1 500-4 500	> 4 500
Densité moyenne	25	250	750	2 250	6 750

Tableau 16 : densité de population des zones traversées par l'infrastructure

D'après les données INSEE de 2017, la densité de population maximale sur le projet correspond à celle de la ville de Caen avec 4 099 habitants/km<sup>2</sup>. 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 2018. Entre 2010 et 2018, la moyenne annuelle de l'évolution du PIB par habitant est de 0,90 % en France selon les chiffres de la Banque Mondiale<sup>7</sup>. 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 2019 est de 0,30 % en moyenne annuelle d'après les statistiques du ministère de la Transition écologique et solidaire<sup>8</sup>. 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)<sup>9</sup>.

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

	2010-2020	2020-2024 sans projet	2020-2024 avec projet
Evolution du PIB par habitant	9,4 %	3,67 %	3,67 %
TMJA total du projet	114000	113680	155840
Evolution du trafic	2,94 %	-0,28 %	36,7 %
Somme des émissions PM <sub>2.5</sub> , NO <sub>x</sub> , COVNM, SO <sub>2</sub> (kg/j)	38,2	25,4	33,8
Evolution des émissions	-46,14 %	-0,5 %	-0,13 %
Evolution globale	-39,34 %	-37,61 %	-14,15 %

Tableau 17 : 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 :

Valeurs tutélaires (€/100 véh.km)	2010	2020	2024 sans projet	2024 avec projet
Evolution globale depuis 2010	0,0%	-39,34 %	-37,61 %	-14,15 %
VP	3,1	1,88	1,93	2,66
PL	37	22,44	23,08	31,76

Tableau 18 : 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	2020	2024 sans projet	2024 avec projet
Trafic VP (véh.km)/j	108709	108364	148545
Trafic PL (véh.km)/j	5291	5316	7295
Coût VP (€/j)	2044	2096	3953
Coût PL (€/j)	1187	1227	2317
Coût total (€/j)	3232	3323	6270

Tableau 19 : coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique

Les coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique **augmentent d'environ 89 %** avec la mise en place du projet.

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

La valeur tutélaire du carbone est fixée par le rapport de la commission présidée par Alain Quinet publié en 2019<sup>10</sup>. Ce rapport prévoit une évolution linéaire de la tonne de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> de 500 € en 2040 à 775 € en 2050, correspondant à une évolution annuelle d'environ 4,5 %. Le tableau 20 présente les coûts correspondant pour chaque scénario du projet.

	2020	2024 sans projet	2024 avec projet
Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> (€/t)	62,07	108,37	108,37
CO <sub>2</sub> émis (t/j)	15,30	14,00	18,60
Coût CO <sub>2</sub> émis (€/j)	826,20	1517,20	2015,71

Tableau 20 : coûts collectifs liés à l'effet de serre

La mise en place du projet entraîne **une augmentation d'environ 33 %** des coûts collectifs liés à l'effet de serre par rapport à la situation sans projet.

<sup>7</sup> La Banque Mondiale. Croissance du PIB par habitant entre 2010 et 2018.

<sup>8</sup> Service de la donnée et des études statistiques. Développement Durable. Données sur le parc des véhicules au 1<sup>er</sup> janvier 2019.

<sup>9</sup> A l'exception des particules PM<sub>2.5</sub> qui ne figurent pas dans le bilan des émissions car cette fraction granulométrique est déjà comprise dans les PM<sub>10</sub>. Les données pour les PM<sub>2.5</sub> sont reprises des résultats des calculs d'émissions par le logiciel TREFIC™.

<sup>10</sup> 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 Logiciel de modélisation utilisé

La plateforme de modélisation SaaS AmpliSIM® permet l'utilisation du modèle de dispersion AERMOD, validé par l'US-EPA. Ce modèle gaussien en régime permanent permet de déterminer l'impact des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Dans le cadre de cette étude, la modélisation est réalisée à partir de sources linéiques d'émissions et diverses données d'entrée, sur des mailles de calcul de 10 m x 10 m.

La conversion des NOx en NO/NO<sub>2</sub> est prise en compte par le logiciel de modélisation selon la méthode OLM (Ozone Limiting Method) :

- Si  $0,9 [NOx] < [O_3]$  alors  $[NOx] = [NO_2]$
- Si  $[NO] > [O_3]$  alors  $[NO_2] = [O_3] + 0,1 [NOx]$

### V.2 Données d'entrée

#### V.2.1) Emissions polluantes

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

#### V.2.2) Météorologie

La dispersion est modélisée avec les données horaires de vent sur 1 an (2019) acquises auprès de la station Météo France de Caen Carpiquet (14). La figure 20 présente la rose des vents des données utilisées.

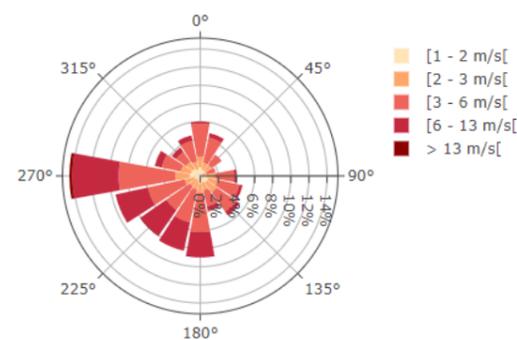


Figure 20 : rose des vents utilisée pour la modélisation

#### V.2.3) Topographie

La topographie est issue d'une extraction puis d'une interpolation des fichiers SRTM NASA avec une résolution de 100 m. 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 sur la dispersion des polluants.



Figure 21 : représentation du relief en vue 2D

#### V.2.4) Population

Les données de population sont présentées à l'échelle de carreaux de 50 m de côté. Les données utilisées sont celles du recensement de l'INSEE disponible pour l'année 2010. La population pour le scénario actuel et le scénario futur sans projet est estimée identique à la population actuelle, d'après les recommandations de la note du 22 février 2019 relative aux études air et santé. Pour le scénario futur avec projet, la population est complétée par le nombre d'habitants supplémentaires au droit du projet, soit 4 644 habitants. Cette donnée populationnelle liée au projet (4 644) a donc été ajoutée de façon uniforme dans la zone de projet à partir d'informations issues du plan de masse (2 700 logements maximum seront créés et répartis dans la zone) corrélées aux données INSEE 2017 qui indiquent sur la commune de Caen un nombre moyen de 1,72 personnes par ménage<sup>11</sup>.

#### V.2.5) Pollution de fond

Les concentrations de fond en NO<sub>2</sub>, en particules PM<sub>10</sub> et particules PM<sub>2,5</sub>, benzène sont issues des données moyennes de la station Atmo Normandie « Caen Chemin Vert » sur l'année 2019 (cf. paragraphe II.3.2)).

Les concentrations en ozone sont nécessaires pour prendre en compte les réactions photochimiques intervenant sur la dispersion du NO<sub>2</sub>. Celles-ci sont également prises d'après la moyenne annuelle 2019 de la station Atmo Normandie « Caen Chemin Vert ».

Pour les autres polluants modélisés, les concentrations de fond sont extraites de la base de données INERIS en prenant la médiane des concentrations recensées pour chaque paramètre à l'échelle du territoire français<sup>12</sup>. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs utilisées :

Polluant	Valeur retenue (µg/m <sup>3</sup> )
NO <sub>2</sub>	14
Ozone	54
PM <sub>10</sub>	16
PM <sub>2,5</sub>	9
Benzène	0,54
COV	1
Acénaphthène	0,3 10 <sup>-3</sup>
Acénaphthylène	0,3 10 <sup>-3</sup>
Anthracène	0,3 10 <sup>-3</sup>
Benzo(a)anthracène	0,2 10 <sup>-3</sup>
Benzo(a)pyrène	0,4 10 <sup>-3</sup>
Benzo(b)fluoranthène	0,4 10 <sup>-3</sup>
Benzo(k)fluoranthène	0,2 10 <sup>-3</sup>
Benzo(ghi)pérylène	0,4 10 <sup>-3</sup>
Chrysène	0,4 10 <sup>-3</sup>
Dibenzo(a,h)anthracène	0,04 10 <sup>-3</sup>
Fluorène	1,5 10 <sup>-3</sup>
Fluoranthène	1,8 10 <sup>-3</sup>
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,3 10 <sup>-3</sup>
Phénanthrène	5,1 10 <sup>-3</sup>
Pyrène	1,3 10 <sup>-3</sup>
Benzo(j)fluoranthène	0,5 10 <sup>-3</sup>
1,3-butadiène	0,2
Chrome VI en Cr total	1,5 10 <sup>-3</sup>
Nickel	2 10 <sup>-3</sup>
Arsenic	0,5 10 <sup>-3</sup>

Tableau 21 : bruit de fond

<sup>11</sup> INSEE – Dossier complet Commune de Caen (14118) – Couple-Familles-Ménages en 2017.

<sup>12</sup> 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.

### V.3 Résultats

#### V.3.1) Cartographies

Les résultats sont présentés pour les NO<sub>x</sub>, polluant le plus représentatif de la pollution liée au trafic routier :

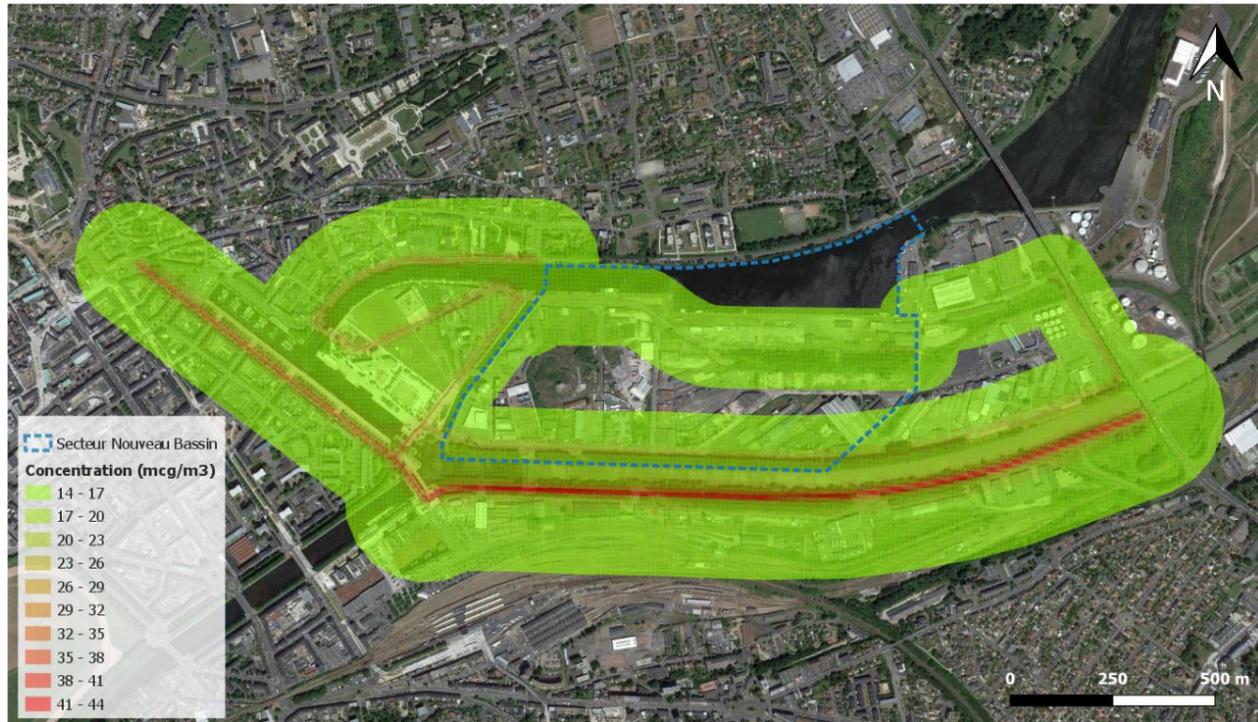


Figure 22 : concentration moyenne journalière en NO<sub>x</sub> – scénario actuel

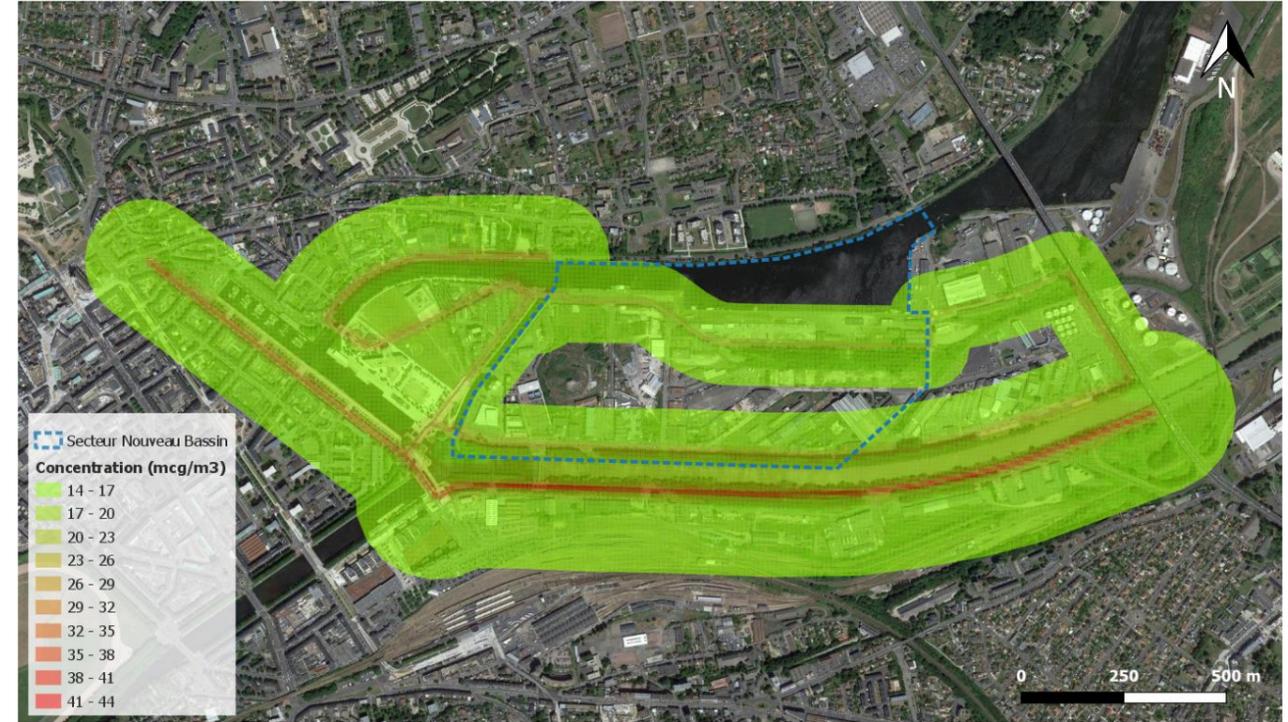


Figure 24 : concentration future moyenne journalière en NO<sub>x</sub> – futur avec projet

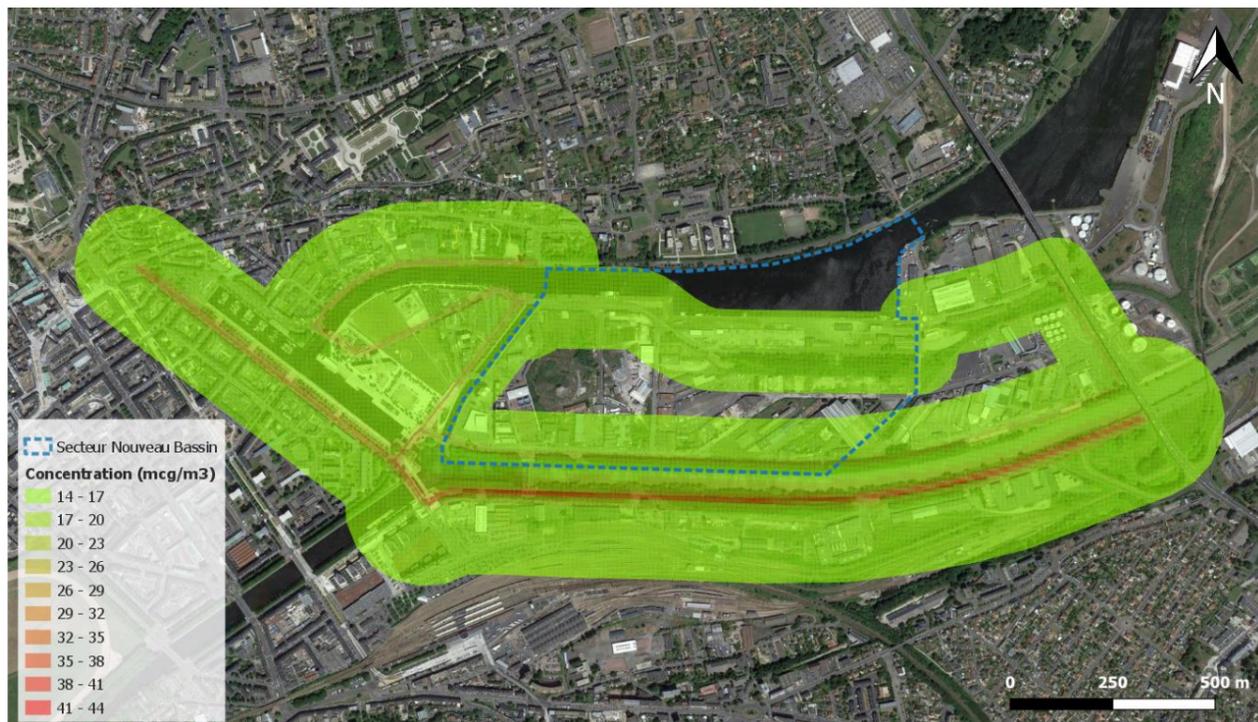


Figure 23 : concentration moyenne journalière en NO<sub>x</sub> – scénario futur sans projet



Figure 25 : variation des concentrations en NO<sub>x</sub> entre le scénario futur sans projet et avec projet

### V.3.2) Concentrations sur les points d'intérêt

Scénario	Actuel (µg/m³)	Futur sans projet (µg/m³)	Futur avec projet (µg/m³)	Delta futur projet/sans projet (%)
Moyenne annuelle	14,7	14,5	14,7	1,1
Concentration annuelle sur le point le moins exposé	14,1	14,0	14,0	0,1
Concentration annuelle sur le point le plus exposé	43,8	34,2	36,6	7,1

Tableau 22 : concentrations moyennes en NO<sub>x</sub> sur les points d'intérêt

Globalement, les résultats indiquent une très légère augmentation des concentrations en NO<sub>x</sub> sur l'ensemble de la zone entre les scénarios futurs avec et sans projet (de l'ordre de 1,1 %). Le point d'exposition maximal présente une augmentation de 7,1 % entre les deux scénarios futurs cependant ce point se situe au centre d'un axe routier. Les concentrations modélisées montrent que le projet n'entraîne aucun dépassement de la valeur limite réglementaire en NO<sub>2</sub> en tout point du domaine pour le scénario à l'horizon 2024 avec projet.

### V.3.3) Indice IPP

Pour évaluer l'impact d'un projet sur les populations, le Cerema a développé une méthode consistant à croiser les concentrations calculées 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 les NO<sub>x</sub>, conformément à la note technique du 22/02/2019 relative aux études air et santé.

Le tableau suivant présente les valeurs de l'IPP le plus élevé, c'est-à-dire dans la maille la plus exposée, ainsi que l'IPP moyen qui correspond à la moyenne des IPP sur l'ensemble du domaine d'étude.

	IPP NO <sub>x</sub>	
	Max	Moyen
Situation actuelle	38,9	4,8
Situation future sans projet	33,1	4,7
Situation future avec projet	35,8	4,8
Delta avec projet / sans projet (%)	7,465	0,618

Tableau 23 : IPP dans la maille la plus exposée et IPP global

Le projet entraîne une **augmentation de l'IPP moyen d'environ 0,62 %**. Cette augmentation est principalement liée à celle de la population étant donnée la faible variation des concentrations en polluants.

Pour illustrer la variation de l'IPP global, la figure suivante illustre le nombre d'habitants exposés par classe de concentration de NO<sub>x</sub> 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 %.

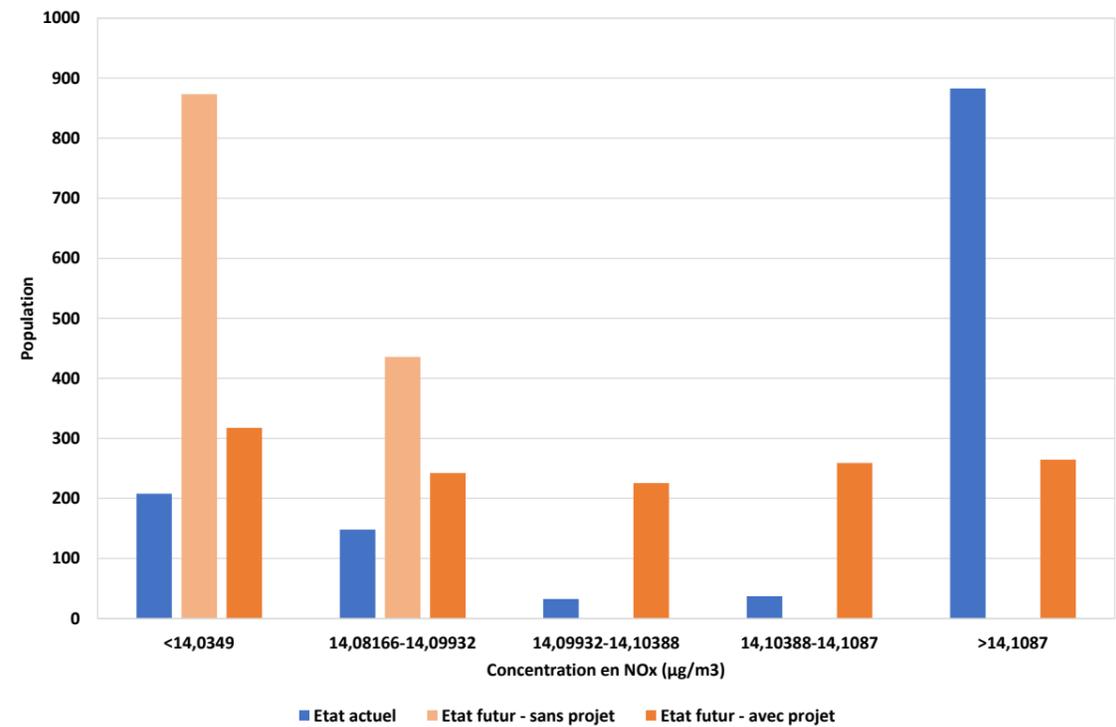


Figure 26 : histogrammes de distribution concentration/population pour les NO<sub>x</sub>

Globalement, le projet entraîne une diminution du nombre d'habitants exposés aux classes de concentration les plus faibles, qui se reporte sur les classes de concentration les plus importantes. La figure suivante illustre les zones d'augmentation et de diminution de l'IPP entre l'état futur sans et avec projet :



Figure 27 : variation de l'IPP entre le scénario futur sans projet et avec projet

En lien avec l'estimation des émissions et la modélisation des concentrations, l'IPP augmente globalement aux abords des principaux axes où la population existe. De plus, dans la zone du projet, la création de logement et donc la présence de nouveaux résidents pour le scénario « futur avec projet » entraîne une augmentation de l'indice par rapport au scénario « futur sans projet ».

## VI. EFFETS DU PROJET : EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

### VI.1 Principe

Dans le cadre d'une étude de niveau II, l'évaluation des risques sanitaires doit être réalisée au droit des sites vulnérables pour l'exposition par inhalation des polluants atmosphériques. Cette évaluation est réalisée suivant les quatre étapes préconisées par l'InVS :

- o Identification des dangers par sélection des substances pouvant avoir un impact sur la santé ;
- o Relation dose-réponse par recensement des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ;
- o Estimation des expositions selon la voie, le temps et la concentration afin de calculer la concentration moyenne inhalée (CI) ;
- o 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.

Les incertitudes associées à chaque étape sont présentées dans une partie supplémentaire.

### VI.2 Identification des dangers

L'identification des dangers repose sur le recensement des effets sur la santé des polluants définis par le guide méthodologique du 22 février 2019 :

- o Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), en particulier le NO<sub>2</sub>
- o Les particules émises à l'échappement (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>)
- o Le benzène
- o Le 1,3 butadiène
- o Le chrome VI
- o Le nickel
- o L'arsenic
- o Les 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont le benzo(a)pyrène

Les voies d'exposition et les effets cancérigènes potentiels de ces substances sont présentées dans le tableau 24 :

Substance	N°CAS	Voie(s) d'exposition	Effets (cancérigène)		
			CIRC	UE	US-EPA
NO <sub>2</sub>	10102-44-0	Inhalation	-	-	-
PM <sub>10</sub>		Inhalation	-	-	-
PM <sub>2,5</sub>		Inhalation	-	-	-
Benzène	71-43-2	Inhalation	1	-	A
1,3 butadiène	106-99-0	Inhalation	1	-	-
Chrome VI	18540-29-9	Inhalation	1	1A	A
Nickel	7440-02-0	Inhalation	1	1	-
Arsenic	7440-38-2	Inhalation	1	-	-
Acénaphthène	83-32-9	Ingestion	3	-	-
Acénaphthylène	208-96-8	Ingestion	-	-	-
Anthracène	120-12-7	Inhalation, Ingestion	3	-	-
Benzo(a)anthracène	56-55-3	Inhalation, Ingestion	2B	-	-
Benzo(a)pyrène	50-32-8	Inhalation, Ingestion	1	-	-
Benzo(b)fluoranthène	205-99-2	Inhalation, Ingestion	2B	-	-
Benzo(k)fluoranthène	207-08-9	Inhalation, Ingestion	2B	-	-
Benzo(ghi)pérylène	191-24-2	Inhalation, Ingestion	3	-	-
Chrysène	218-01-9	Inhalation, Ingestion	2B	-	-
Dibenzo(a,h)anthracène	53-70-3	Inhalation, Ingestion	2A	-	-
Fluorène	86-73-7	Ingestion	3	-	-
Fluoranthène	206-44-0	Ingestion	3	-	-
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	193-39-5	Inhalation, Ingestion	2B	-	-
Phénanthrène	85-01-8	Ingestion	3	-	-
Pyrène	129-00-0	Ingestion	3	-	-
Benzo(j)fluoranthène	205-82-3	Inhalation, Ingestion	2B	-	-

Tableau 24 : substances et dangers associés

### VI.3 Evaluation des relations dose-réponse

Trois types de valeurs sont prises en compte :

- o 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.
- o 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 : ERU).
- o 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 chaque polluant en fonction de l'effet étudié : chronique (exposition continue) ou aigu (exposition ponctuelle maximale).

Type de valeur	VTR effet à seuil		Valeur guide	
	chronique	chronique	chronique	aigu
Dioxyde d'azote			✓	✓
PM <sub>10</sub>			✓	✓
PM <sub>2,5</sub>			✓	✓
1,3 butadiène	✓			
Benzène	✓	✓		
Chrome VI	✓	✓		
Nickel	✓	✓		
Arsenic	✓	✓		
Benzo(a)pyrène	✓	✓		
Anthracène		✓		
Benzo(a)anthracène		✓		
Benzo(b)fluoranthène		✓		
Benzo(k)fluoranthène		✓		
Benzo(ghi)pérylène		✓		
Chrysène		✓		
Dibenzo(a,h)anthracène		✓		
Indéno(1,2,3-cd)pyrène		✓		
Benzo(j)fluoranthène		✓		

Tableau 25 : valeurs disponibles pour l'exposition par l'inhalation

Les VTR 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 dans le tableau suivant :

	Substance	Valeur		Effet critique	Source (date)
		Chronique	Aigu		
VTR Effets à seuil (µg/m <sup>3</sup> )	1,3-butadiène	2,00E+00		Effets sur la fertilité	US EPA (2011)
	Benzène	1,00E+01		-	ANSES (2008)
	Chrome VI	3,00E-02		Système respiratoire	OMS (2013)
	Nickel	2,30E-01		-	TCEQ (2001)
	Arsenic	1,50E-02		Cerveau	OEHHA (2008)
	Benzo(a)pyrène	2,00E-03		-	US-EPA (2017)
VTR effet sans seuil (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Benzène	2,60E-05		Leucémie	ANSES (2014)
	Chrome VI	6,00E-03		-	ANSES (2013)
	Nickel	1,70E-04		-	TCEQ (2011)
	Arsenic	1,50E-04		-	TCEQ (2012)
	Benzo(a)pyrène	6,00E-04		-	US-EPA (2017)
	Benzo(a)anthracène	1,10E-04		-	OEHHA (1999)
	Benzo(b)fluoranthène	1,10E-04		-	OEHHA (1999)
	Benzo(k)fluoranthène	1,10E-04		-	OEHHA (1999)
	Benzo(ghi)pérylène	1,10E-05		Cancérigène	INERIS (2003)
	Chrysène	1,10E-05		Cancérigène	OEHHA (2003)
Valeur guide (µg/m <sup>3</sup> )	Dibenzo(a,h)anthracène	1,20E-03		-	OEHHA (1999)
	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	1,10E-04		-	OEHHA (1999)
	Benzo(j)fluoranthène	1,10E-04		-	OEHHA (1999)
	NO <sub>2</sub>	40 (1 an)	200 (1 h)	-	OMS (2013)
PM <sub>10</sub>	20 (1 an)	50 (24 h)	-	OMS (2013)	
PM <sub>2,5</sub>	10 (1 an)	25 (24 h)	-	OMS (2013)	

Tableau 26 : valeurs de comparaison pour l'exposition par inhalation

## VI.4 Evaluation de l'exposition

### VI.4.1) Sites exposés

Le risque sanitaire de l'exposition par inhalation aux polluants émis par le trafic routier est considéré pour une étude de type II uniquement au droit des sites vulnérables dans la bande d'étude. Les sites identifiés sont les suivants :

- Ecole élémentaire Henri Brunet
- Collège Henri Brunet
- Micro-crèche HAPILI Les Rives de l'Orne
- Résidence autonome – Les Rives de l'Orne

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



Figure 28 : localisation des sites vulnérables dans la bande d'étude

### VI.4.2) Voies d'exposition

L'exposition à la pollution atmosphérique peut se produire par différentes voies :

- Par inhalation
- Par ingestion indirecte (retombées de poussières responsables de la contamination de la chaîne alimentaire, de l'eau...) ou par ingestion directe de sol
- Par contact cutané

Conformément au guide méthodologique du 22 février 2019, seule la voie d'exposition par inhalation est traitée pour une étude de niveau II.

### VI.4.3) Scénarios d'exposition chronique

D'après la démarche de l'évaluation des risques sanitaires, l'intensité de l'exposition par inhalation est estimée en concentration moyenne inhalée (CI) d'après la formule suivante :

$$CI = \sum (C_i t_i) \times F \times \frac{T}{T_m}$$

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 (sans dimension) dépendant du scénario d'exposition ;
- $F$ , la fréquence d'exposition à la concentration  $C_i$  en nombre de jours par an (sans dimension) 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.

Les durées  $T$  et  $T_m$ , dépendent du type d'effets :

- Pour des substances avec effets à seuil, l'exposition moyenne est calculée sur la durée effective d'exposition, par conséquent  $T=T_m$
- Pour les effets sans seuil, la durée d'exposition  $T$  dépend du scénario étudié et la durée sur laquelle l'exposition est moyennée  $T_m$  est, par convention, égale à la vie entière soit 70 ans.

Pour caractériser l'exposition de la population, différents scénarios sont établis. Conformément au guide méthodologique du 22 février 2019, un scénario pire cas (majorant) est étudié ainsi qu'un scénario réaliste, applicable au plus grand nombre d'individus. Les paramètres d'exposition sont différents selon les établissements considérés :

Type d'établissement	$t_i$	$F$	$T$	$T_m$
Majorant	1	1	70	70
Crèche ou lycée	0,3333 (8h/jour)	0,6923 (16 semaines de vacances)	3	
Maternelle			5	
Elémentaire			4	
Collège	1 (24h/jour)	1	3 <sup>13</sup>	
Etablissement personnes âgées			70	
Etablissement de santé	0,67 (16h/jour) <sup>15</sup>	0,0153 (séjour moyen de 5,6 par an) <sup>14</sup>	1	
Logement			16,7 <sup>16</sup>	

Tableau 27 : paramètres d'exposition

Les scénarios autres que le scénario majorant sont appelés scénarios « réalistes » dans la suite du rapport. Le tableau ci-dessous présente le calcul de la concentration moyenne inhalée CI après simplification selon les paramètres de chaque scénario :

Exposition	Effet	Scénario	Formule simplifiée
Chronique	A seuil	Majorant	$CI_{AS\ majo} = C_i$
		Réaliste	$CI_{AS\ réal} = C_i \times t_i \times F$
	Sans seuil	Majorant	$CI_{SS\ majo} = C_i$
		Réaliste	$CI_{SS\ réal} = C_i \times t_i \times F \times T/70$
Aigue	A seuil	Majorant	$CI_{AS\ aigu} = C_{max}$

Tableau 28 : calcul des concentrations d'exposition pour chaque scénario

<sup>13</sup> DREES (2018). Etudes et résultats – L'EHPAD, dernier lieu de vie pour un quart des personnes décédées en France en 2015.

<sup>14</sup> OCDE (2019). Panorama de la santé 2019 : Les indicateurs de l'OCDE, Éditions OCDE, Paris.

<sup>15</sup> Institut de Veille Sanitaire - Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement.

<sup>16</sup> INSEE – Les conditions de logement en France – Édition 2017.

#### VI.4.4) 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  $CI_{As} \text{ majo} = Ci$  et  $CI_{ss} \text{ majo} = Ci$ .

Concentrations moyennes annuelles modélisées (µg/m³)								
Site vulnérable	Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
<b>Scénario</b>	<b>Sans projet</b>	<b>Avec projet</b>	<b>Sans projet</b>	<b>Avec projet</b>	<b>Sans projet</b>	<b>Avec projet</b>	<b>Sans projet</b>	<b>Avec projet</b>
NOx	1,47E+01	1,48E+01	1,42E+01	1,43E+01	1,45E+01	1,46E+01	1,43E+01	1,44E+01
PM10	1,60E+01	1,61E+01	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01
PM2,5	9,05E+00	9,06E+00	9,02E+00	9,02E+00	9,04E+00	9,04E+00	9,02E+00	9,03E+00
Benzène	5,41E-01	5,41E-01	5,40E-01	5,40E-01	5,40E-01	5,41E-01	5,40E-01	5,40E-01
1,3 butadiène	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,00E-01
Chrome VI	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03
Nickel	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03	2,00E-03
Arsenic	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03
Anthracène	8,32E-06	9,71E-06	2,48E-06	3,04E-06	5,47E-06	6,67E-06	3,41E-06	4,19E-06
Benzo(a)anthracène	4,36E-06	5,08E-06	1,30E-06	1,59E-06	2,86E-06	3,48E-06	1,79E-06	2,20E-06
Benzo(a)pyrène	2,54E-06	2,96E-06	7,57E-07	9,29E-07	1,66E-06	2,02E-06	1,04E-06	1,28E-06
Benzo(b)fluoranthène	3,61E-06	4,20E-06	1,07E-06	1,31E-06	2,38E-06	2,89E-06	1,48E-06	1,81E-06
Benzo(k)fluoranthène	2,86E-06	3,32E-06	8,45E-07	1,04E-06	1,89E-06	2,29E-06	1,17E-06	1,43E-06
Benzo(ghi)pérylène	5,79E-06	6,76E-06	1,73E-06	2,13E-06	3,79E-06	4,63E-06	2,37E-06	2,92E-06
Chrysène	8,18E-06	9,52E-06	2,42E-06	2,97E-06	5,40E-06	6,56E-06	3,35E-06	4,11E-06
Dibenzo(a,h)anthracène	5,02E-07	5,85E-07	1,50E-07	1,83E-07	3,29E-07	4,01E-07	2,06E-07	2,53E-07
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2,83E-06	3,29E-06	8,44E-07	1,03E-06	1,86E-06	2,26E-06	1,16E-06	1,42E-06
Benzo(j)fluoranthène	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03

Tableau 29 : concentrations modélisées en moyenne annuelle / concentrations inhalées majorantes pour l'exposition à seuil et sans seuil

#### VI.4.5) Concentrations maximales

Pour évaluer les risques aigus, les concentrations sont modélisées en valeur maximale (les concentrations en NOx sont considérées comme égales aux concentrations en NO2 pour l'étude des risques sanitaires, ce qui constitue une hypothèse majorante). Ces valeurs correspondent à la concentration maximale en moyenne journalière pour les PM10/PM2,5 et à la concentration maximale en moyenne horaire pour le NO2 selon la formule  $CI_{As} \text{ aigu} = C_{max}$ .

Concentrations maximales annuelles modélisées (µg/m³) - Concentrations inhalées AIGUS								
Site vulnérable	Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
NO2 (max horaire)	4,01E+01	4,42E+01	2,51E+01	2,82E+01	4,41E+01	4,99E+01	3,69E+01	4,18E+01
PM10 (max journalier)	1,7E+01	1,67E+01	1,62E+01	1,63E+01	1,63E+01	1,64E+01	1,62E+01	1,63E+01
PM2,5 (max journalier)	9,5E+00	9,63E+00	9,21E+00	9,26E+00	9,37E+00	9,44E+00	9,22E+00	9,27E+00

Tableau 30 : concentrations modélisées en maxima / Concentrations inhalées pour l'exposition aiguë

#### VI.4.6) Concentrations inhalées pour les substances à seuil

Le tableau suivant présente les concentrations annuelles pour les substances à effet de seuil tenant compte des scénarios d'exposition réaliste selon la formule  $CI_{As} \text{ réal} = Ci \times ti \times F$ .

Concentrations inhalées A SEUIL (µg/m³)								
Site vulnérable	Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
<b>Scénario</b>	<b>Sans projet</b>	<b>Avec projet</b>	<b>Sans projet</b>	<b>Avec projet</b>	<b>Sans projet</b>	<b>Avec projet</b>	<b>Sans projet</b>	<b>Avec projet</b>
NO2	3,40E+00	3,42E+00	1,42E+01	1,43E+01	3,34E+00	3,37E+00	3,30E+00	3,32E+00
PM10	3,70E+00	3,70E+00	1,60E+01	1,60E+01	3,70E+00	3,70E+00	3,70E+00	3,70E+00
PM2,5	2,09E+00	2,09E+00	9,02E+00	9,02E+00	2,09E+00	2,09E+00	2,08E+00	2,08E+00
Benzène	1,25E-01	1,25E-01	5,40E-01	5,40E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01	1,25E-01
1,3 butadiène	4,62E-02	4,62E-02	2,00E-01	2,00E-01	4,62E-02	4,62E-02	4,62E-02	4,62E-02
Chrome VI	4,62E-04	4,62E-04	2,00E-03	2,00E-03	4,62E-04	4,62E-04	4,62E-04	4,62E-04
Nickel	4,62E-04	4,62E-04	2,00E-03	2,00E-03	4,62E-04	4,62E-04	4,62E-04	4,62E-04
Arsenic	2,31E-04	2,31E-04	1,00E-03	1,00E-03	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04
Anthracène	1,92E-06	2,24E-06	2,48E-06	3,04E-06	1,26E-06	1,54E-06	7,87E-07	9,68E-07
Benzo(a)anthracène	1,01E-06	1,17E-06	1,30E-06	1,59E-06	6,60E-07	8,04E-07	4,12E-07	5,07E-07
Benzo(a)pyrène	5,85E-07	6,82E-07	7,57E-07	9,29E-07	3,84E-07	4,67E-07	2,40E-07	2,95E-07
Benzo(b)fluoranthène	8,32E-07	9,70E-07	1,07E-06	1,31E-06	5,49E-07	6,67E-07	3,41E-07	4,19E-07
Benzo(k)fluoranthène	6,59E-07	7,67E-07	8,45E-07	1,04E-06	4,35E-07	5,29E-07	2,70E-07	3,31E-07
Benzo(ghi)pérylène	1,34E-06	1,56E-06	1,73E-06	2,13E-06	8,74E-07	1,07E-06	5,47E-07	6,75E-07
Chrysène	1,89E-06	2,20E-06	2,42E-06	2,97E-06	1,25E-06	1,51E-06	7,73E-07	9,47E-07
Dibenzo(a,h)anthracène	1,16E-07	1,35E-07	1,50E-07	1,83E-07	7,60E-08	9,25E-08	4,74E-08	5,83E-08
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	6,53E-07	7,60E-07	8,44E-07	1,03E-06	4,29E-07	5,21E-07	2,68E-07	3,29E-07
Benzo(j)fluoranthène	2,32E-04	2,32E-04	1,00E-03	1,00E-03	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04	2,31E-04

Tableau 31 : concentrations inhalées réalistes pour l'exposition à seuil

#### VI.4.7) Concentrations inhalées pour les substances sans seuil

Le tableau suivant présente les concentrations annuelles pour les substances à effet sans seuil tenant compte des scénarios d'exposition réaliste selon la formule  $CI_{ss} \text{ réal} = Ci \times ti \times F \times T/70$ .

Concentrations inhalées SANS SEUIL (µg/m³)								
Site vulnérable	Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
NO2	1,46E-01	1,47E-01	6,09E-01	6,11E-01	2,39E-01	2,40E-01	1,89E-01	1,89E-01
PM10	1,59E-01	1,59E-01	6,86E-01	6,86E-01	2,64E-01	2,64E-01	2,11E-01	2,11E-01
PM2,5	8,95E-02	8,96E-02	3,86E-01	3,87E-01	1,49E-01	1,49E-01	1,19E-01	1,19E-01
Benzène	5,35E-03	5,35E-03	2,32E-02	2,32E-02	8,91E-03	8,91E-03	7,12E-03	7,13E-03
1,3 butadiène	1,98E-03	1,98E-03	8,57E-03	8,58E-03	3,30E-03	3,30E-03	2,64E-03	2,64E-03
Chrome VI	1,98E-05	1,98E-05	8,57E-05	8,57E-05	3,30E-05	3,30E-05	2,64E-05	2,64E-05
Nickel	1,98E-05	1,98E-05	8,57E-05	8,57E-05	3,30E-05	3,30E-05	2,64E-05	2,64E-05
Arsenic	9,89E-06	9,89E-06	4,29E-05	4,29E-05	1,65E-05	1,65E-05	1,32E-05	1,32E-05
Anthracène	8,23E-08	9,60E-08	1,06E-07	1,30E-07	9,02E-08	1,10E-07	4,49E-08	5,53E-08
Benzo(a)anthracène	4,31E-08	5,02E-08	5,57E-08	6,83E-08	4,72E-08	5,74E-08	2,36E-08	2,90E-08
Benzo(a)pyrène	2,51E-08	2,92E-08	3,24E-08	3,98E-08	2,74E-08	3,34E-08	1,37E-08	1,69E-08
Benzo(b)fluoranthène	3,57E-08	4,16E-08	4,59E-08	5,63E-08	3,92E-08	4,77E-08	1,95E-08	2,39E-08
Benzo(k)fluoranthène	2,82E-08	3,29E-08	3,62E-08	4,44E-08	3,11E-08	3,78E-08	1,54E-08	1,89E-08
Benzo(ghi)pérylène	5,72E-08	6,69E-08	7,41E-08	9,11E-08	6,24E-08	7,63E-08	3,12E-08	3,86E-08
Chrysène	8,09E-08	9,42E-08	1,04E-07	1,27E-07	8,91E-08	1,08E-07	4,42E-08	5,41E-08
Dibenzo(a,h)anthracène	4,96E-09	5,79E-09	6,41E-09	7,86E-09	5,43E-09	6,61E-09	2,71E-09	3,33E-09
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2,80E-08	3,26E-08	3,62E-08	4,43E-08	3,06E-08	3,72E-08	1,53E-08	1,88E-08
Benzo(j)fluoranthène	9,92E-06	9,93E-06	4,29E-05	4,29E-05	1,65E-05	1,65E-05	1,32E-05	1,32E-05

Tableau 32 : concentrations inhalées réalistes pour l'exposition sans seuil

## VI.5 Caractérisation du risque

### VI.5.1) Principe

La caractérisation du risque est basée sur le calcul d'indices pour chaque exposition, chaque substance et chaque scénario. Ces indices permettent d'estimer l'acceptabilité ou non du risque par comparaison à des valeurs seuils. Ils sont différents dans le cas d'effets à seuil et d'effets sans seuil :

- Pour les substances avec effets à seuil : détermination d'un quotient de danger (QD), correspondant au ratio entre le niveau d'exposition et la valeur toxicologique de référence soit  $QD = CI_{AS} / VTR$ . Le résultat est comparé pour chaque organe cible à la valeur seuil de 1.
- Pour les substances avec effets sans seuils : détermination d'un excès de risque individuel (ERI), correspondant à la probabilité de survenue d'une pathologie pour les individus exposés pour chaque scénario, soit  $ERI = CI_{SS} \times ERU$ . Le résultat est sommé pour chaque polluant et comparé à la valeur seuil de  $1.10^{-5}$ .
- Pour les substances ne disposant pas de VTR : comparaison directe aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour le risque chronique (moyenne annuelle) et aigu (moyenne journalière ou horaire selon les polluants).

Type de substance	Effets à seuil	Effets sans seuil	Effets sans VTR
Indicateur de risque	$QD = CI_{AS} / VTR$	$ERI = CI_{SS} \times VTR$	Moyenne annuelle PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> et NO <sub>2</sub> Moyenne journalière maximale PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> Moyenne horaire maximale NO <sub>2</sub>
Caractérisation du risque	QD par organe	Somme des ERI	Comparaison directe
Valeur seuil	1	10 <sup>-5</sup>	Valeurs OMS

Tableau 33 : calcul des indices de risque

### VI.5.2) Etude du risque chronique lié aux substances à effet à seuil

Les substances ont été regroupées selon les effets qu'elles provoquent sur des organes cibles, la somme des QD peut être réalisée lorsque les substances ont le même système cible.

QD risque chronique MAJORANT									
Site vulnérable		Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet	
Organe cible	Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Immunitaire	Benzène	5,41E-02	5,41E-02	5,40E-02	5,40E-02	5,40E-02	5,41E-02	5,40E-02	5,40E-02
	1,3-butadiène	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01
Reproducteur	Arsenic	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02
	Cerveau	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02
Foetus	Benzo(a)pyrène	1,27E-03	1,48E-03	3,78E-04	4,64E-04	8,31E-04	1,01E-03	5,19E-04	6,39E-04
	Chromé VI	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02	6,67E-02
Respiratoire	Nickel	8,70E-03	8,70E-03	8,70E-03	8,70E-03	8,70E-03	8,70E-03	8,70E-03	8,70E-03
	Total	7,54E-02	7,54E-02	7,54E-02	7,54E-02	7,54E-02	7,54E-02	7,54E-02	7,54E-02

Tableau 34 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant

QD risque chronique REALISTE									
Site vulnérable		Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet	
Organe cible	Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Immunitaire	Benzène	1,25E-02	1,25E-02	5,40E-02	5,40E-02	1,25E-02	1,25E-02	1,25E-02	1,25E-02
	1,3-butadiène	2,31E-02	2,31E-02	1,00E-01	1,00E-01	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02
Reproducteur	Arsenic	1,54E-02	1,54E-02	6,67E-02	6,67E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02
	Cerveau	1,54E-02	1,54E-02	6,67E-02	6,67E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02
Foetus	Benzo(a)pyrène	2,93E-04	3,41E-04	3,78E-04	4,64E-04	1,92E-04	2,34E-04	1,20E-04	1,47E-04
	Chromé VI	1,54E-02	1,54E-02	6,67E-02	6,67E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02	1,54E-02
Respiratoire	Nickel	2,01E-03	2,01E-03	8,70E-03	8,70E-03	2,01E-03	2,01E-03	2,01E-03	2,01E-03
	Total	1,74E-02	1,74E-02	7,54E-02	7,54E-02	1,74E-02	1,74E-02	1,74E-02	1,74E-02
Delta projet		0,08%		0,03%		0,07%		0,05%	

Tableau 35 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste

Le projet entraîne une augmentation de la somme des QD d'environ 0,03 à 0,8 % selon les sites considérés. De plus, aucun quotient de danger ne dépasse la valeur de 1, indiquant **l'absence de risque sanitaire lié aux substances à effets de seuil**.

### VI.5.3) Etude du risque chronique lié aux substances à effets sans seuil

ERI risque chronique MAJORANT									
Site vulnérable		Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet	
Organe cible	Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Hématopoïétique	Benzène	2,08E+04	2,08E+04	2,08E+04	2,08E+04	2,08E+04	2,08E+04	2,08E+04	2,08E+04
	Chromé VI	3,33E-01	3,34E-01	3,33E-01	3,33E-01	3,33E-01	3,33E-01	3,33E-01	3,33E-01
Système respiratoire	Nickel	1,18E+01	1,18E+01	1,18E+01	1,18E+01	1,18E+01	1,18E+01	1,18E+01	1,18E+01
	Arsenic	6,67E+00	6,67E+00	6,67E+00	6,67E+00	6,67E+00	6,67E+00	6,67E+00	6,67E+00
	Benzo(a)anthracène	3,96E-02	4,62E-02	1,18E-02	1,45E-02	2,60E-02	3,17E-02	1,62E-02	2,00E-02
Global	Benzo(b)fluoranthène	3,28E-02	3,82E-02	9,74E-03	1,19E-02	2,16E-02	2,63E-02	1,34E-02	1,65E-02
	Benzo(k)fluoranthène	2,60E-02	3,02E-02	7,68E-03	9,41E-03	1,72E-02	2,08E-02	1,06E-02	1,30E-02
	Benzo(ghi)pérylène	5,26E-01	6,15E-01	1,57E-01	1,93E-01	3,44E-01	4,21E-01	2,15E-01	2,66E-01
	Benzo(a)pyrène	4,23E-03	4,93E-03	1,26E-03	1,55E-03	2,77E-03	3,37E-03	1,73E-03	2,13E-03
	Chrysène	7,43E-01	8,66E-01	2,20E-01	2,70E-01	4,91E-01	5,96E-01	3,05E-01	3,73E-01
	Dibenzo(a,h)anthracène	4,18E-04	4,87E-04	1,25E-04	1,53E-04	2,75E-04	3,34E-04	1,71E-04	2,11E-04
	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	2,36E-03	2,75E-03	7,03E-04	8,62E-04	1,55E-03	1,88E-03	9,67E-04	1,19E-03
	Benzo(j)fluoranthène	9,12E+00	9,13E+00	9,10E+00	9,10E+00	9,11E+00	9,12E+00	9,10E+00	9,11E+00
	Total	<b>2,08E+04</b>	<b>2,08E+04</b>	<b>2,08E+04</b>	<b>2,08E+04</b>	<b>2,08E+04</b>	<b>2,08E+04</b>	<b>2,08E+04</b>	<b>2,08E+04</b>

Tableau 36 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant

ERI risque chronique REALISTE									
Site vulnérable		Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet	
Organe cible	Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Hématopoïétique	Benzène	1,39E-07	1,39E-07	6,02E-07	6,02E-07	2,32E-07	2,32E-07	1,85E-07	1,85E-07
	Chromé VI	1,19E-07	1,19E-07	5,14E-07	5,14E-07	1,98E-07	1,98E-07	1,58E-07	1,58E-07
Système respiratoire	Nickel	3,36E-09	3,36E-09	1,46E-08	1,46E-08	5,60E-09	5,61E-09	4,48E-09	4,48E-09
	Arsenic	1,48E-09	1,48E-09	6,43E-09	6,43E-09	2,47E-09	2,47E-09	1,98E-09	1,98E-09
	Benzo(a)anthracène	4,74E-12	5,52E-12	6,13E-12	7,52E-12	5,19E-12	6,32E-12	2,59E-12	3,19E-12
Global	Benzo(b)fluoranthène	3,92E-12	4,57E-12	5,05E-12	6,19E-12	4,32E-12	5,24E-12	2,15E-12	2,63E-12
	Benzo(k)fluoranthène	3,11E-12	3,62E-12	3,98E-12	4,88E-12	3,42E-12	4,15E-12	1,70E-12	2,08E-12
	Benzo(ghi)pérylène	6,30E-13	7,36E-13	8,15E-13	1,00E-12	6,87E-13	8,39E-13	3,44E-13	4,24E-13
	Benzo(a)pyrène	1,50E-11	1,75E-11	1,95E-11	2,39E-11	1,64E-11	2,00E-11	8,22E-12	1,01E-11
	Chrysène	8,90E-13	1,04E-12	1,14E-12	1,40E-12	9,80E-13	1,19E-12	4,86E-13	5,96E-13
	Dibenzo(a,h)anthracène	5,96E-12	6,94E-12	7,69E-12	9,43E-12	6,52E-12	7,93E-12	3,25E-12	4,00E-12
	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	3,36E-11	3,91E-11	4,34E-11	5,32E-11	3,67E-11	4,47E-11	1,84E-11	2,25E-11
	Benzo(j)fluoranthène	1,09E-09	1,09E-09	4,72E-09	4,72E-09	1,82E-09	1,82E-09	1,45E-09	1,45E-09
	Total	<b>2,64E-07</b>	<b>2,64E-07</b>	<b>1,14E-06</b>	<b>1,14E-06</b>	<b>4,39E-07</b>	<b>4,40E-07</b>	<b>3,51E-07</b>	<b>3,52E-07</b>
	Delta projet		0,02%		0,01%		0,02%		0,01%

Tableau 37 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste

Le projet entraîne une augmentation de 0,01 à 0,02 % selon les sites considérés. Bien que la valeur seuil de l'ERI (10<sup>-5</sup>) soit dépassée sur chaque site pour le scénario majorant, celle-ci est respectée pour le scénario réaliste, indiquant **un risque sanitaire acceptable pour les substances à effet sans seuil**.

#### VI.5.4) Etude du risque chronique lié aux substances sans VTR

Les effets sur la santé du NO<sub>2</sub>, des PM<sub>10</sub> et des PM<sub>2,5</sub> sont évalués par la comparaison des concentrations inhalées en moyenne annuelle aux valeurs guides de l'OMS et aux valeurs réglementaires françaises.

Le tableau ci-dessous présente cette comparaison pour les concentrations moyennes annuelles modélisées avec une hypothèse d'exposition continue (**CI<sub>AS/SS</sub> majo**).

Comparaison aux valeurs OMS pour les substances sans VTR										Valeur guide OMS (µg/m³)	Valeur limite de protection pour la santé (µg/m³)
Site vulnérable	Scénario	Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet			
Risque		Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Chronique majorant	NO <sub>2</sub>	1,47E+01	1,48E+01	1,42E+01	1,43E+01	1,45E+01	1,46E+01	1,43E+01	1,44E+01	40 (1 an)	40 (1 an)
	PM <sub>10</sub>	1,60E+01	1,61E+01	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01	20 (1 an)	40 (1 an)
	PM <sub>2,5</sub>	9,05E+00	9,06E+00	9,02E+00	9,02E+00	9,04E+00	9,04E+00	9,02E+00	9,03E+00	10 (1 an)	25 (1 an)

Tableau 38 : comparaison des concentrations aux valeurs guides chroniques – scénario majorant

Le projet entraîne une augmentation de 0,14 à 0,34 % de la somme des concentrations des trois substances considérées. **Aucun dépassement des valeurs guides n'est constaté pour le NO<sub>2</sub> et les PM<sub>10</sub> pour tous les sites vulnérables, avec ou sans projet.**

#### VI.5.5) Etude du risque aigu lié aux substances sans VTR

Pour l'étude du risque aigu, l'exposition est considérée comme ponctuelle et ne peut donc pas prendre en compte de scénario d'exposition. Seul le scénario majorant est donc utilisé pour comparer les concentrations maximales (en moyenne journalière pour les particules et en moyenne horaire pour le NO<sub>2</sub>) aux valeurs guides :

Comparaison aux valeurs OMS pour les substances sans VTR										Valeur guide OMS (µg/m³)	Valeur limite de protection pour la santé (µg/m³)
Site vulnérable	Scénario	Micro-crèche HAPILI		Résidence Autonomie		Ecole élémentaire Henri Brunet		Collège Henri Brunet			
Risque		Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Aigu	NO <sub>2</sub>	4,01E+01	4,42E+01	2,51E+01	2,82E+01	4,41E+01	4,99E+01	3,69E+01	4,18E+01	200 (1 h)	200 (1 h)
	PM <sub>10</sub>	1,66E+01	1,67E+01	1,62E+01	1,63E+01	1,63E+01	1,64E+01	1,62E+01	1,63E+01	50 (24 h)	50 (24 h)
	PM <sub>2,5</sub>	9,53E+00	9,63E+00	9,21E+00	9,26E+00	9,37E+00	9,44E+00	9,22E+00	9,27E+00	25 (24 h)	-

Tableau 39 : comparaison des concentrations aux valeurs guides aigus

Aucune valeur guide ou réglementaire n'est dépassée par les concentrations estimées pour l'exposition aiguë, indiquant l'absence de risque sanitaire pour ce scénario.

### VI.6 Incertitudes

#### VI.6.1) Identification des dangers

Bien que la liste des substances soit basée sur la note méthodologique du 22 février 2019, une incertitude apparaît quant au choix d'une liste finie de substances, qui peut sous-estimer le risque pour celles non prises en compte. Cependant, l'incertitude principale repose sur l'absence de données concernant l'effet de mélange ou les produits de dégradation et métabolisation dont la toxicité peut être différente. Il est difficile de conclure sur le caractère de surestimation ou de sous-estimation de cette incertitude.

#### VI.6.2) 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.6.3) Estimation de l'exposition

Les voies d'exposition par contact cutanée 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. Dans le cadre de cette étude, 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). Une hypothèse majorante est prise lors de cette phase en estimant que la concentration en NO<sub>2</sub> est égale à celle des NO<sub>x</sub>.

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.6.4) 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

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 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.

### VII.1 En phase programmation/conception de projet

Il est primordial de concevoir dès la phase de programmation une opération d'aménagement qui permettra de limiter et/ou réduire les émissions polluantes dans l'air ambiant ainsi que l'exposition des futurs habitants et des riverains à la pollution atmosphérique.

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 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, les espaces publics fréquentés par des enfants ou à forte densité de population, par rapport aux axes routiers où le trafic est le plus important (mise en place d'une zone « tampon »).
- Etablir une disposition stratégique du bâti permettant un éloignement des premiers bâtiments les plus proches des sources d'émissions par un espace végétalisé (obstacles horizontaux) favorisant la dispersion, ou une occlusivité (obstacles verticaux) par rapport aux sites accueillant les populations plus sensibles, concevoir de formes architecturales spécifiques favorisant la dispersion des polluants atmosphériques.
- Limiter l'impact de la pollution atmosphérique sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments : le contrôle de la ventilation dans les bâtiments peut limiter les transferts de polluants de l'extérieur vers l'intérieur. 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). Le dimensionnement d'une filtration adaptée au niveau des centrales de traitement de l'air permet également de réduire l'introduction de polluants extérieurs dans les bâtiments (par exemple l'installation de VMC à double flux dans les bâtiments accueillant des populations vulnérables).

Dans les cas spécifiques où la mise en place de ce type de mesure n'est pas réalisable et/ou qu'il existe un enjeu sanitaire important (par exemple la disposition d'un site sensible en proche proximité d'un axe routier très fréquenté), la réalisation d'une modélisation 3D peut être envisagée afin de déterminer plus finement l'impact d'un bâtiment écran (occlusivité) ou des différentes formes structurelles qui composent le nouvel aménagement sur la dispersion locale des polluants. En effet, en fonction des différents paramètres locaux (configuration du bâti, positionnement des sources d'émission par rapport aux bâtiments, vitesses et directions des vents) 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.

### VII.2 En phase chantier

Dans le cadre d'un projet d'aménagement, la réalisation d'un chantier (démolition, construction, terrassement, utilisation d'engins de chantiers motorisés...) peut générer de nombreux polluants dans l'air ambiant. Bien que l'impact sur la qualité de l'air de cette phase soit généralement local et de court terme, de nombreuses mesures peuvent être prises pour le réduire.

La maîtrise d'ouvrage doit inclure des dispositions contractuelles dans son CCTP visant à garantir le respect de l'environnement lors des différentes phases du chantier, en réduisant notamment les émissions (pollution atmosphérique) et les nuisances (sonores, visuelles...) et inclure l'analyse des actions prises par le prestataire dans l'évaluation des mémoires techniques et la sélection du ou des prestataires retenus. La maîtrise d'ouvrage peut se faire aider dans cette démarche par un AMO qui possède la compétence environnementale.

Dans un premier temps, il est nécessaire d'identifier les différentes sources de pollution possibles sur le chantier, notamment :

- L'échappement des machines et engins de chantier qui entraînent principalement des émissions de NO<sub>2</sub>, 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 engendrent 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 entraînent 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 par exemple :

- 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<sub>2,5</sub>) 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 contenants 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).

## VIII. SYNTHÈSE

### 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 présence d'axes routiers à fort trafic (notamment la N814 à l'est le cours Montalivet au sud) et l'urbanisation dense autour de la zone de projet constituent des sources potentiellement importantes d'émissions polluantes, notamment pour le NO<sub>2</sub> et les particules. De plus, les émissions polluantes d'industries situées au nord-est du projet dans un rayon de moins de 10 km peuvent éventuellement s'ajouter au bruit de fond urbain.
- Les données historiques de pollution atmosphérique dans l'environnement du projet n'indiquent pas de sensibilité particulière vis-à-vis de la qualité de l'air. Cependant la distance des stations de mesure de référence par rapport à la zone du projet justifie la réalisation d'une campagne de mesure in-situ de ce polluant.
- Le projet se situe sur la commune de Caen qui compte environ 105 000 habitants pour une superficie de 25,7 km<sup>2</sup> soit une densité d'environ 4 100 hab/km<sup>2</sup>. Cependant les données de l'INSEE indiquent que le projet se situe dans une zone où la densité de population est très faible voire inexistante. Concernant les populations vulnérables, 17 sites pouvant les accueillir (crèches, établissements scolaires, EHPAD) sont recensés dans la zone d'étude. Certains d'entre eux sont susceptibles d'être impactés par les modifications du trafic routier liées au projet.
- Le projet s'inscrit en cohérence avec différentes actions établies par les plans de prévention de la pollution atmosphérique en vigueur en région Normandie (SCRAE, PRSE3, PDU...).

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<sub>2</sub>), principal traceur des émissions du trafic routier, à l'échelle locale :

- Cette campagne de mesure, effectuée du 26 novembre au 10 décembre 2020, se caractérise par conditions météorologiques et de pollution atmosphérique entraînant des concentrations en NO<sub>2</sub> plus fortes que la moyenne annuelle (entre 15 et 51 %).
- Dans ces conditions, les résultats n'indiquent aucun dépassement potentiel de la valeur limite pour le NO<sub>2</sub>, aussi bien en bordure des voies les plus fréquentées 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 (+ 32,6 % en moyenne). Cependant entre le scénario « actuel » et le scénario « futur avec projet », une baisse des émissions de plusieurs polluants (NO<sub>x</sub>, CO, COV, benzène) peut être constatée. Cette baisse est liée à l'évolution du parc routier et la mise en circulation de véhicules moins polluants projetée entre 2020 et 2024.
- Le scénario « futur avec projet » entraîne une augmentation significative (> 50 %) des émissions de NO<sub>x</sub> sur la majorité des axes par rapport au scénario « futur sans projet ». Les valeurs d'émissions restent faibles (< 3 g/j/m) sur les axes les plus impactés par le projet.
- Le scénario « futur avec projet » entraîne une augmentation respective des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique et à l'effet de serre de 89 % et 33 % par rapport au scénario « futur sans projet ».

Concernant la modélisation des concentrations :

- En lien avec les émissions de polluants, le projet entraîne une légère augmentation des concentrations en polluants en moyenne sur la zone (+ 1,1 % pour les NO<sub>x</sub>).
- La mise en œuvre du projet entraîne une augmentation de l'indice pollution-population (IPP) d'environ 0,6 %. Cette variation s'explique principalement par la présence de nouveaux résidents dans la zone de projet, issue de la création de nouveaux logements.

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 augmentation de la somme des quotients de danger (QD) d'environ 0,03 à 0,08 % selon les sites considérés. 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 augmentation de l'excès de risque individuel (ERI) de 0,01 à 0,02 % environ est constatée entre le scénario « futur sans projet » et le scénario « futur avec projet ». Bien que la valeur seuil de 1.10<sup>-5</sup> soit dépassée pour le scénario majorant, l'ERI calculé pour le scénario réaliste respecte le seuil d'acceptabilité du risque sanitaire lié aux substances à effet sans seuil sur tous les sites.
- Le projet entraîne une augmentation de 0,14 à 0,34 % de la somme des concentrations en PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> et NO<sub>2</sub> estimées pour l'exposition chronique. Le scénario majorant n'indique aucun dépassement des valeurs guides de l'OMS et de la protection de la santé pour ces trois polluants.
- Concernant les risques aigus, les concentrations maximales en moyenne horaire pour le NO<sub>2</sub> et en moyenne journalière pour les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> respectent les valeurs guides.

## 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 influencer 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 agréées 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-volatile**. 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<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 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 chaîne 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<sub>2</sub>) ou le méthane (CH<sub>4</sub>).

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

Polluant	Description
<b>Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)</b>	Ils regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> ). 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.
<b>Monoxyde de carbone (CO)</b>	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 décroître 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).
<b>Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Principalement émis par le secteur de transformation d'énergie puis par l'industrie. Ce composé responsable de pollution importante au milieu du XX <sup>ème</sup> 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.
<b>Composés organiques volatils (COV)</b>	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.
<b>Particules</b>	Les particules couvrent différentes fractions granulométriques parmi lesquelles la loi sur l'air fixe des valeurs de référence pour les PM <sub>10</sub> (particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm) et les PM <sub>2.5</sub> (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.
<b>Métaux lourds</b>	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.
<b>Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)</b>	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.
<b>Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)</b>	Le CO <sub>2</sub> , et de manière générale l'ensemble des gaz à effet de serre, ne présentent pas d'impact sanitaire mais contribuent au réchauffement climatique.
<b>Ozone (O<sub>3</sub>)</b>	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 <sub>x</sub> sous l'action des ultraviolets. Comme il n'est pas directement émis par une source, ce polluant n'apparaît pas dans l'inventaire des émissions du CITEPA. Ce composé fait néanmoins l'objet d'une surveillance et entraîne régulièrement en période estivale des dépassements de la réglementation.

Tableau 40 : 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<sup>17</sup> des concentrations de particules PM<sub>10</sub>, de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et d'ozone (O<sub>3</sub>) 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.

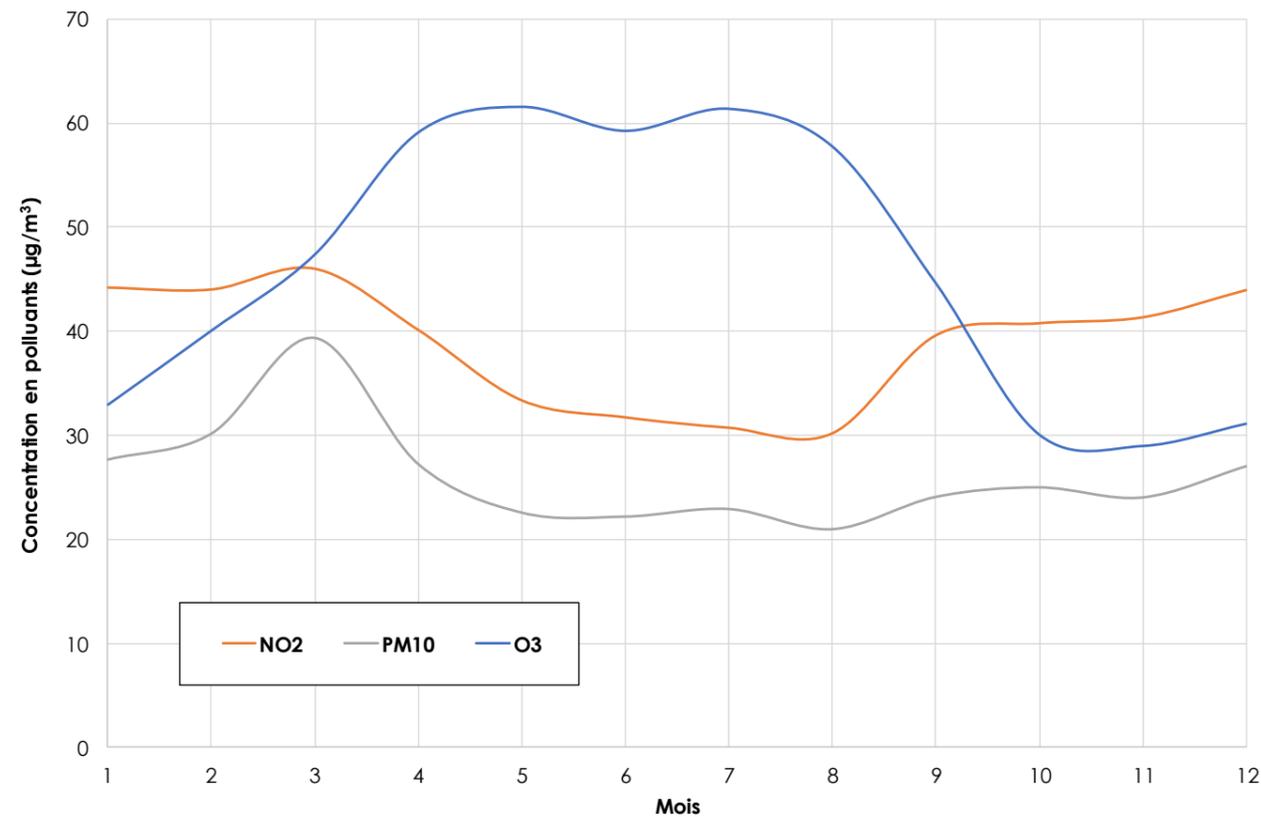


Figure 29 : profil annuel des concentrations de NO<sub>2</sub>/PM<sub>10</sub>/O<sub>3</sub> en Ile-de-France (données : Airparif)

Les fluctuations des concentrations de NO<sub>2</sub> 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<sub>3</sub> varient de manière inverse à celles du NO<sub>2</sub>. Ce comportement est lié aux réactions de chimie atmosphérique et notamment au cycle de formation/consommation entre l'ozone et les NO<sub>x</sub>. 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<sub>10</sub> 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.

<sup>17</sup> 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.

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

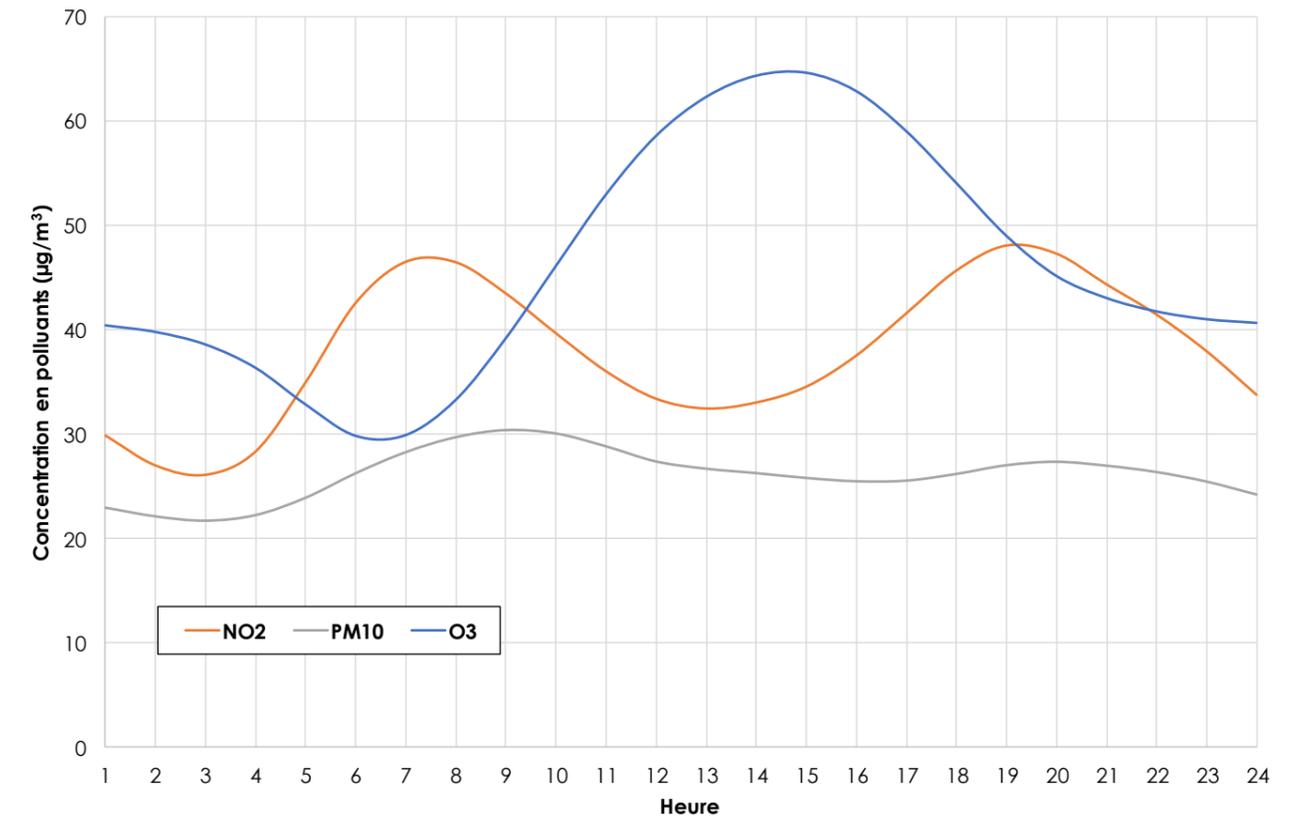


Figure 30 : profil journalier des concentrations de NO<sub>2</sub>/PM<sub>10</sub>/O<sub>3</sub> en Ile-de-France (données : Airparif)

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 entraîne des pics de concentrations en NO<sub>2</sub> 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<sub>10</sub> en raison des autres sources d'émission de ce polluant.

### 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<sup>18</sup> et internationales<sup>19</sup> 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<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> étaient conformes aux objectifs de qualité de l'OMS de 10 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle, les habitants de Paris et de la proche couronne gagneraient six mois d'espérance de vie (cf. figure ci-dessous).

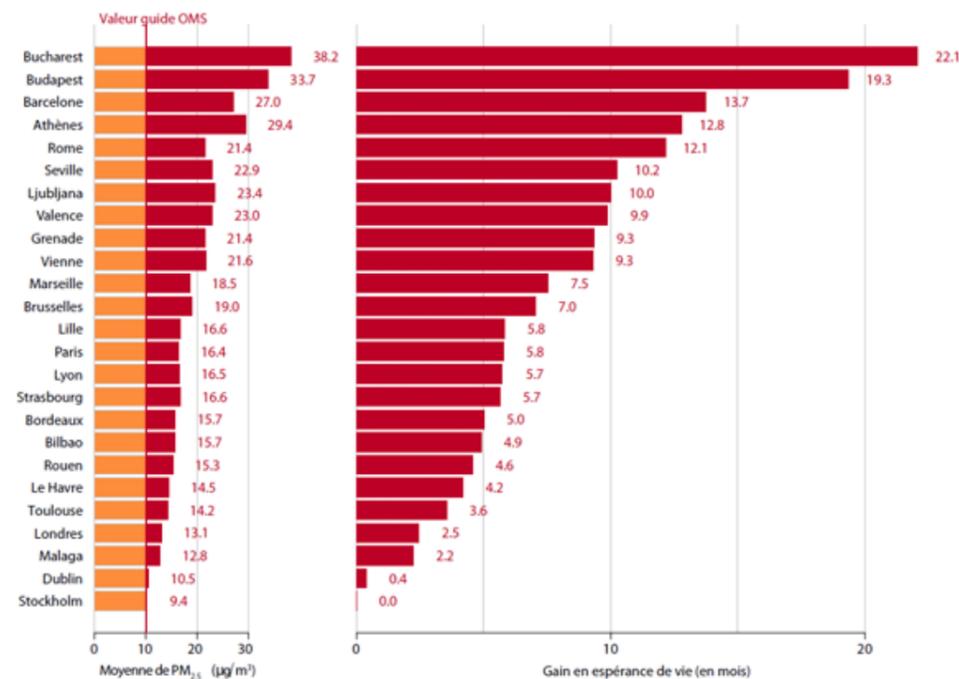


Figure 31 : gain d'espérance de vie pour une réduction des teneurs annuelles en PM<sub>2.5</sub> à 10 µg/m<sup>3</sup>

<sup>18</sup>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).

<sup>19</sup>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.

De plus, la pollution atmosphérique entraîne 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).



Figure 32 : pyramide des effets de la pollution atmosphérique

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.

En 2015, l'Agence européenne de l'environnement (AEE) estime pour sa part à environ 400 000 par an le nombre de décès attribuables à la pollution aux particules fines PM<sub>2.5</sub> en Europe, avec environ 90 % des citoyens européens exposés à des niveaux de pollution supérieurs aux valeurs guides de l'OMS.

Une étude<sup>20</sup> plus récente réalisée en 2016 par Santé publique France confirme le poids sanitaire de la pollution par les particules fines PM<sub>2.5</sub> 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<sup>21</sup> 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<sub>2</sub> 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.

<sup>20</sup> 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.

<sup>21</sup> 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 coût 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<sup>22</sup>.

En avril 2015, une étude<sup>23</sup> 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<sup>24</sup> 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 (SO<sub>2</sub>) 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<sup>25</sup>, 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 4<sup>e</sup> 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<sup>26</sup>.
- Enfin, le rapport du Sénat de 2015 estime le coût 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 août 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/Écologie 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 41 : récapitulatif de la réglementation en vigueur en France sur la qualité de l'air

<sup>22</sup> 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.

<sup>23</sup> 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.

<sup>24</sup> Commission d'enquête sénatoriale. Pollution de l'air, le coût de l'inaction. Tome I : Rapport. Juillet 2015.

<sup>25</sup> 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.

<sup>26</sup> INFRAS & IWW. External Costs of Transport (accident, environmental and congestion costs) in Western Europe. 2000.

Benzène (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )		
Objectif de qualité	2 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	5 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )		
Objectif de qualité	40 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	200 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures par an
	40 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la végétation	30 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle d'oxydes d'azote
Seuil d'information et de recommandation	200 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	400 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne tri-horaire
	200 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne tri-horaire prévue à J+1 si 200 µg/m <sup>3</sup> dépassés à J0 et J-1 en moyenne tri-horaire
Ozone (O <sub>3</sub> )		
Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	120 µg/m <sup>3</sup>	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures par an
Objectif de qualité pour la protection de la végétation	6 000 µg/m <sup>3</sup> .h	AOT40 <sup>27</sup> calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	120 µg/m <sup>3</sup>	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/m <sup>3</sup> .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/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	240 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire
Seuils d'alerte nécessitant la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence	1 <sup>er</sup> seuil : 240 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne tri-horaire
	2 <sup>ème</sup> seuil : 300 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne tri-horaire
	3 <sup>ème</sup> seuil : 360 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire
Monoxyde de carbone (CO)		
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	10 000 µg/m <sup>3</sup>	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )		
Objectif de qualité	50 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	350 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures par an
	125 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 jours par an
Valeur limite pour la protection des écosystèmes	20 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle et moyenne sur la période du 1 <sup>er</sup> octobre au 31 mars
Seuil d'information et de recommandation	300 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	500 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire pendant 3 heures consécutives

Tableau 42 : valeurs réglementaires pour les composés gazeux dans l'air ambiant

Particules PM <sub>10</sub>		
Objectif de qualité	30 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	50 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
	40 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Seuil d'information et de recommandation	50 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne sur 24 heures
Seuil d'alerte	80 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne sur 24 heures
Particules PM <sub>2.5</sub>		
Objectif de qualité	10 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	25 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Valeur cible	20 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Plomb (Pb)		
Objectif de qualité	0,25 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Valeur limite	0,5 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Arsenic (As)		
Valeur cible	6 ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Cadmium (Cd)		
Valeur cible	5 ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Nickel (Ni)		
Valeur cible	20 ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle
Benzo[a]pyrène (BaP)		
Valeur cible	1 ng/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle

Tableau 43 : valeurs réglementaires pour les composés particuliers 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 44 : définition des seuils réglementaires

<sup>27</sup> AOT 40 (exprimé en µg/m<sup>3</sup>.heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m<sup>3</sup> et 80 µg/m<sup>3</sup> 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					
<b>Adresse :</b> Avenue de Tourville			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Trafic			49°11'4.19"N   0°20'26.39"O		
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	362	26/11/2020	13h28	10/12/2020	13h30

P3					
<b>Adresse :</b> Cours Caffarelli			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Trafic			49°10'48.82"N   0°20'28.38"O		
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	365	26/11/2020	13h04	10/12/2020	13h22

P2					
<b>Adresse :</b> Rue de Cardiff			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Fond urbain			49°10'55.20"N   0°20'28.07"O		
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	339	26/11/2020	13h01	10/12/2020	13h20

P4					
<b>Adresse :</b> Cours Montalivet			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Trafic			49°10'45.90"N   0°20'28.01"O		
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	360	26/11/2020	12h45	10/12/2020	13h10

P5					
<b>Adresse :</b> Avenue Victor Hugo			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Trafic			49°10'54.37"N   0°20'52.61"O		
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	373	26/11/2020	12h52	10/12/2020	13h15

P7					
<b>Adresse :</b> Rue Gaston Lamy			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Fond urbain			49°10'54.12"N   0°20'10.75"O		
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	144	26/11/2020	13h10	10/12/2020	13h24

P6					
<b>Adresse :</b> Chaussée d'Algérie			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Fond urbain			49°10'57.13"N   0°20'4.51"O		
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	344	26/11/2020	13h21	10/12/2020	13h29

P8					
<b>Adresse :</b> Avenue de l'Orne			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Fond urbain			49°10'57.42"N   0°20'34.54"O		
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	370 / 372	26/11/2020	12h56	10/12/2020	13h18

P9					
<b>Adresse :</b> Voie 810			<b>Coordonnées</b>		
<b>Typologie :</b> Fond urbain			49°11'1.48"N	0°19'46.42"O	
<b>Photographies</b>			<b>Plan</b>		
					
<b>Polluant</b>	<b>Capteur</b>	<b>Début de prélèvement</b>		<b>Fin de prélèvement</b>	
NO <sub>2</sub>	342	26/11/2020	13h15	10/12/2020	13h27