

Liaison RD901 - RD52

Contournement Sud de Samer

Dossier de Mise en Compatibilité des Documents d'Urbanisme

Réponse à l'avis MRAE
Annexe 2
Etude air et santé



Rincenc Air

DEVIATION SUD DE SAMER (62)

ETUDE AIR ET SANTE ET BILAN DE GES

Commanditaire :	Verdi Ingénierie	Rapport :	Final
Réalisation :	Rincenc Air	Phase :	3-3
Auteur :	RA - BF	Version :	RP-AF23046-3-V1
Validation :	RA - FC	Date :	05/07/2023

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



SOMMAIRE

I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE AIR ET SANTÉ	4
I.1 REFERENTIEL METHODOLOGIQUE	4
I.2 CHOIX PREVISIONNEL DU NIVEAU D'ETUDE	4
I.3 CRITERES DE REVISION	4
II. ETAT INITIAL : ÉTUDE DOCUMENTAIRE	5
II.1 LES EMISSIONS POLLUANTES	5
II.1.1) Répartition des secteurs d'émissions – Communauté de communes de Desvres-Samer (62) 5	5
II.1.2) Emissions liées au trafic routier	5
II.1.3) Secteur industriel	6
II.2 POPULATION IMPACTEE	7
II.2.1) Population générale	7
II.2.2) Population vulnérable	7
II.3 METEOROLOGIE	8
II.3.1) Impact des paramètres météorologiques.....	8
II.3.2) Station de référence.....	8
II.3.3) Normales météorologiques	8
II.4 QUALITE DE L'AIR	9
II.4.1) Définitions	9
II.4.2) Station de mesure de référence	9
II.5 LES PLANS DE PREVENTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	10
II.5.1) Les plans à l'échelle nationale	10
II.5.2) Les plans à l'échelle régionale	10
II.5.3) Les plans à l'échelle locale	10
III. ETAT INITIAL : CAMPAGNE DE MESURE	12
III.1 PRELEVEMENT ET ANALYSE	12
III.1.1) Polluants mesurés	12
III.1.2) Mesure du dioxyde d'azote	12
III.2 PLAN D'ECHANTILLONNAGE	12
III.2.1) Points de mesure	12
III.2.2) Période de mesure.....	12
III.3 RESULTATS DE LA CAMPAGNE	13
III.3.1) Conditions météorologiques	13
III.3.2) Conditions de pollution atmosphérique	13
III.3.3) Validité des mesures par capteurs passif.....	14
III.3.4) Concentrations en NO ₂	14
III.3.5) Cartographie des résultats	14
III.4 COMPARAISON A LA REGLEMENTATION	15
III.4.1) Cadre réglementaire.....	15
III.4.2) Dioxyde d'azote (NO ₂)	15
IV. EFFETS DU PROJET : ESTIMATION DES ÉMISSIONS POLLUANTES	15
IV.1 METHODOLOGIE	15
IV.1.1) Méthode de calcul.....	15
IV.1.2) Données de trafic	15
IV.1.3) Facteurs d'émissions unitaires.....	16
IV.1.4) Parc de véhicules.....	16
IV.1.5) Scénarios considérés	16
IV.1.6) Bande d'étude	16
IV.2 RESULTATS DU CALCUL DES EMISSIONS POLLUANTES	16
IV.2.1) Emissions polluantes globales	16
IV.2.2) Cartographie des émissions.....	17
IV.2.3) Etude des variations liées au projet.....	18
IV.3 MONETARISATION DES COÛTS	19
IV.3.1) Coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique	19
IV.3.2) Coûts collectifs liés à l'effet de serre.....	19
V. EFFETS DU PROJET : MODÉLISATION DES CONCENTRATIONS	20
V.1 METHODOLOGIE	20
5.1.1) Modèle.....	20
5.1.2) Emissions polluantes.....	20
5.1.3) Météorologie.....	20
5.1.4) Topographie.....	20
5.1.5) Pollution de fond.....	20
V.2 RESULTATS DE LA MODELISATION	21
5.2.1) Cartographies des concentrations	21
5.2.2) Indice IPP	22
VI. EFFETS DU PROJET : ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES	23
6.1 METHODOLOGIE	23
6.1.1) Sites étudiés	23
6.1.2) Etapes de l'évaluation des risques sanitaires.....	23
6.1.3) Identification des dangers.....	23
6.1.4) Relation dose-réponse	24
6.1.5) Estimation de l'exposition par inhalation.....	24
6.2 CARACTERISATION DES RISQUES	25
6.2.1) Substances avec VTR à effets de seuil.....	25
6.2.2) Substances avec VTR sans effet de seuil	26
6.2.3) Substances sans VTR.....	27
VII. MESURES D'ÉVITEMENT DE RÉDUCTION OU DE COMPENSATION	27
VII.1 EN PHASE PROGRAMMATION/CONCEPTION DE PROJET	27
VII.2 EN PHASE CHANTIER	28
VIII. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE AIR ET SANTÉ	29
VIII.1 ETAT INITIAL	29
VIII.2 EFFETS DU PROJET	29
IX. BILAN DE GES	30
IX.1 INTRODUCTION	30
9.1.1) L'évaluation carbone	30
9.1.2) Les principes de l'évaluation	30
9.1.3) Objectifs de l'évaluation	30
9.1.4) Outil utilisé pour l'évaluation	30
IX.2 DONNEES D'ENTREE	31
9.2.1) Les emprises du projet.....	31
9.2.2) Le détail quantitatif estimatif	31
9.2.3) Les plans du projet.....	31
9.2.4) L'état initial de l'environnement et les emprises du projet	31
IX.3 BILAN GES	31
9.3.1) Synthèse globale	31
9.3.2) Synthèse sur la phase construction	31
9.3.3) Synthèse sur les émissions véhiculaires	32
IX.4 CONCLUSION	32

ANNEXE

Annexe 1 : Rappel des effets de la pollution atmosphérique sur la santé	34
Annexe 2 : Fiches de point de mesure	39
Annexe 3 : Concentrations modélisées pour l'évaluation des risques sanitaires.....	43
Annexe 4 : Incertitudes sur l'évaluation des risques sanitaires	44
Annexe 5 : Bilan de GES - méthodologie d'évaluation.....	45
Annexe 6 : Note de calcul UTFC	50

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.....	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 Hauts-de-France .9	
Tableau 7 : plan d'échantillonnage	12
Tableau 8 : étude des données Atmo Hauts-de-France	13
Tableau 9 : facteurs de validité des mesures	14
Tableau 10 : résultats des mesures pour le NO ₂ (µg/m ³)	14
Tableau 11 : données de trafic	15
Tableau 12 : définition de la bande d'étude (note technique du 22/02/2019)	16
Tableau 13 : bilan des émissions de PES	16
Tableau 14 : bilan des émissions de GES	16
Tableau 15 : récapitulatif des émissions de NO _x par brins routiers	18
Tableau 16 : valeurs tutélaires du coût de la pollution liée au trafic routier.....	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 : sources utilisées pour le bruit de fond	20
Tableau 22 : concentrations de fond utilisées	21
Tableau 23 : IPP selon les scénarios considérés.....	22
Tableau 24 : substances et dangers associés.....	23
Tableau 25 : recensement des valeurs disponibles	24
Tableau 26 : paramètres d'exposition	24
Tableau 27 : VTR à effets de seuil pour l'exposition par inhalation.....	25
Tableau 28 : concentrations inhalées réalistes pour l'exposition à seuil.....	25
Tableau 29 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste	25
Tableau 30 : VTR sans effet de seuil pour l'exposition par inhalation	26
Tableau 31 : concentrations inhalées réalistes pour l'exposition sans seuil	26
Tableau 32 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste	26
Tableau 33 : valeurs guides (expositions chronique et aigue)	27
Tableau 34 : comparaison des concentrations aux valeurs guides et réglementaires	27
Tableau 35 : description des principaux polluants en air ambiant.....	34
Tableau 36 : récapitulatif de la réglementation en vigueur en France sur la qualité de l'air.....	37
Tableau 37 : valeurs réglementaires pour les composés gazeux dans l'air ambiant.....	38
Tableau 38 : valeurs réglementaires pour les composés particuliers dans l'air ambiant	38
Tableau 39 : définition des seuils réglementaires	38
Tableau 40 : concentrations modélisées en moyenne annuelle	43
Tableau 41 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant	43
Tableau 42 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant	43

FIGURES

Figure 1 : part des émissions atmosphériques par secteur en 2018 – territoire Desvres-Samer (62)	5
Figure 2 : localisation des principaux axes routiers dans la zone d'étude	5
Figure 3 : localisation des principaux sites industriels dans un rayon de 5 km autour du projet	6
Figure 4 : population autour de la zone du projet.....	7
Figure 5 : localisation des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet	7
Figure 6 : localisation de la station météorologique de référence	8
Figure 7 : normales de températures et précipitations	8
Figure 8 : normale de rose des vents.....	8
Figure 9 : localisation des stations qualité de l'air de référence	9
Figure 10 : plan d'échantillonnage	12
Figure 11 : étude des températures et précipitations (données : Météo France)	13
Figure 12 : étude des conditions de vent (données : Météo France)	13
Figure 13 : cartographie des résultats	14
Figure 14 : comparaison des résultats des mesures NO ₂ à la réglementation.....	15
Figure 15 : bande d'étude	16
Figure 16 : émissions de NO _x – scénario actuel.....	17
Figure 17 : émissions de NO _x – scénario futur sans projet	17
Figure 18 : émissions de NO _x – scénario futur avec projet.....	17
Figure 19 : variation émissions de NO _x 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 ₂ – scénario actuel.....	21
Figure 23 : concentration moyenne journalière en NO ₂ – scénario futur sans projet	21
Figure 24 : concentration future moyenne journalière en NO ₂ – futur avec projet	21
Figure 25 : variation des concentrations en NO ₂ entre le scénario futur sans projet et avec projet	22
Figure 26 : histogrammes de distribution concentration/population pour le NO ₂	22
Figure 27 : localisation des sites vulnérables dans la bande d'étude	23
Figure 28 : recommandations générales d'aménagements favorisant la dispersion de polluants.....	28
Figure 29 : logo certification de la conformité à la méthode Bilan Carbone®.....	30
Figure 30 : extrait du détail quantitatif estimatif des travaux	31
Figure 31 : émissions de GES par phase	31
Figure 32 : décomposition des émissions GES en phase construction par corps de métier	31
Figure 33 : décomposition des émissions GES en phase construction par poste émissif	32
Figure 34 : décomposition des émissions GES par type de intrants durant la phase de construction	32
Figure 35 : différences de trafic et émissions véhiculaires entre les scénarii référence et projet	32
Figure 36 : bilan total des émissions directes et véhiculaires.....	32
Figure 37 : profil annuel des concentrations de NO ₂ /PM ₁₀ /O ₃ en Ile-de-France (données : Airparif)	35
Figure 38 : profil journalier des concentrations de NO ₂ /PM ₁₀ /O ₃ en Ile-de-France (données : Airparif)	35
Figure 39 : gain d'espérance de vie pour une réduction des teneurs annuelles en PM _{2,5} à 10 µg/m ³	36
Figure 40 : pyramide des effets de la pollution atmosphérique	36

I. CADRE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE AIR ET SANTE

I.1 Référentiel méthodologique

Les projets d'aménagement routier 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, les effets sur la qualité de l'air sont évalués conformément à la réglementation applicable aux projets routiers. Dans ce cadre, Rincement 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 ²	I	I	II	>5km : II <5km : III
2000 à 10000 hab/km ²	I	II	II	>25km : II <25km : III
≤ 2000 hab/km ²	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 Rincement Air d'après la note technique du 22 février 2019 :

Contenu des études	IV	III	II	I
Etude documentaire	Secteurs d'émissions, sources d'émissions, données du réseau de surveillance, plans locaux	Secteurs d'émissions, sources d'émissions, population exposée, sites vulnérables, données du réseau de surveillance, plans locaux	Secteurs d'émissions, sources d'émissions, projets proches, population exposée, sites vulnérables, sites exposés au risque d'ingestion, données du réseau de surveillance, plans locaux, étude EISPA	Secteurs d'émissions, sources d'émissions, projets proches, population exposée, sites vulnérables, sites exposés au risque d'ingestion, données du réseau de surveillance, plans locaux, étude EISPA
Campagne de mesure		NO ₂ en cas de manque de données	- NO ₂ systématique - PM ₁₀ sur demande de l'AE	- Dans l'air : NO ₂ , benzène, PM ₁₀ , PM _{2.5} , 16 HAP, As, Ni, Cr, 1,3-butadiène - Dans les sols et végétaux : 16 HAP
Estimation des émissions polluantes		NO _x , benzène, PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, COVNM, SO ₂ , BaP, As, Ni	NO _x , benzène, PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, COVNM, SO ₂ , 16 HAP, As, Ni, Cr, 1,3-butadiène	NO _x , benzène, PM ₁₀ , PM _{2.5} , CO, COVNM, SO ₂ , 16 HAP, As, Ni, Cr, 1,3-butadiène
Calcul des coûts collectifs			NO _x , PM _{2.5} , COVNM, SO ₂	
Modélisation des concentrations			NO ₂ systématique, PM ₁₀ sur demande de l'AE pour 3 scénarios : - actuel - futur sans projet - futur avec projet	NO ₂ , benzène, PM ₁₀ , PM _{2.5} , 16 HAP, As, Ni, Cr, 1,3-butadiène pour 5 scénarios : - actuel, - futur sans et avec projet - futur sans et avec projet + 20 ans
Calcul de l'indice pollution-population			NO ₂ systématique, PM ₁₀ sur demande de l'AE	
Etude des risques sanitaires			Risque par inhalation au droit des sites vulnérables	Risque par inhalation sur l'ensemble de la bande d'étude, et par ingestion au droit des sites exposés
Mesures ERC			Analyse des impacts en phase chantier et des mesures ERC applicables	

Tableau 2 : contenu des différents niveaux d'étude

I.2 Choix prévisionnel du niveau d'étude

Les données de trafic sont issues du document référencé « Liaison RD901 - RD52 - Contournement Sud de Samer - Note complémentaire à la notice environnementale - Analyse des incidences des nouveaux trafics 2022 ». Le tableau ci-dessous reprend les trafics moyens journaliers annuels (TMJA) pour chaque scénario :

N°	Brin routier	TMJA 2023 Actuel	TMJA 20XX Sans projet	TMJA 20XX Avec projet	TMJA 20XX Sans projet	TMJA 20XX Avec projet	Delta avec/sans projet (%)
1	Déviations	0	0	3 346	0	5 019	+∞
2	RD901 nord Samer	8 414	8 414	8 414	12 621	12 621	0
3	RD901 sud Samer et nord déviation	6 107	6 107	7 749	9 161	11 624	+27
4	RD901 sud Samer et sud déviation	6 107	6 107	6 107	9 161	9 161	0
5	RD238 nord Samer	917	917	917	1 376	1 376	0
6	RD238 sud Samer et nord déviation	201	201	201	302	302	0
7	RD238 sud Samer et sud déviation	201	201	201	302	302	0
8	RD52 est Samer et ouest déviation	5 030	5 030	1 935	7 545	2 903	-62
9	RD52 est Samer et est déviation	5 030	5 030	5 030	7 545	7 545	0

Tableau 3 : données de trafic

Un impact significatif du projet (plus de 10 %) est constaté sur deux axes (brins n°1 et n°3) dont l'un porte un trafic supérieur à 10 000 véh/jour (axe n°3) ce qui positionne l'étude sur un **niveau II**.

I.3 Critères de révision

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

- Une population supérieure à 100 000 habitants dans la bande d'étude nécessite de remonter d'un niveau les études de type II et III. D'après les données carroyées de l'INSEE de 2017, la population au niveau de la zone du projet est inférieure à 100 000 habitants.
- La localisation du projet dans une zone géographique couverte par un plan de protection de l'atmosphère (PPA) nécessite de remonter d'un niveau les études de type II, III et IV. Dans le cas contraire, un argumentaire doit être fourni pour justifier le maintien du niveau d'étude. Ici, le projet se situe dans une zone couverte par le PPA interdépartemental du Nord-Pas de Calais, ce qui nécessiterait d'augmenter l'étude en niveau I. Néanmoins, conformément au principe de proportionnalité cité par l'article R122-5 du code de l'environnement, et à la note technique du 22 février 2019 qui réserve les études de niveau I aux projets « les plus conséquents », l'étude est maintenue sur un niveau II au vu de l'ampleur et des enjeux du projet.

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

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

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

Dans ce cadre le niveau d'étude du projet est donc maintenu en **niveau II**.

II. ETAT INITIAL : ETUDE DOCUMENTAIRE

II.1 Les émissions polluantes

II.1.1 Répartition des secteurs d'émissions – Communauté de communes de Desvres-Samer (62)

La figure ci-dessous présente la contribution des différents secteurs d'activités aux émissions de polluants atmosphériques dans le territoire de Desvres-Samer (62) dans lequel se situe la zone de projet. Il s'agit d'estimations réalisées en 2020 par Atmo Hauts-de-France (données 2018).

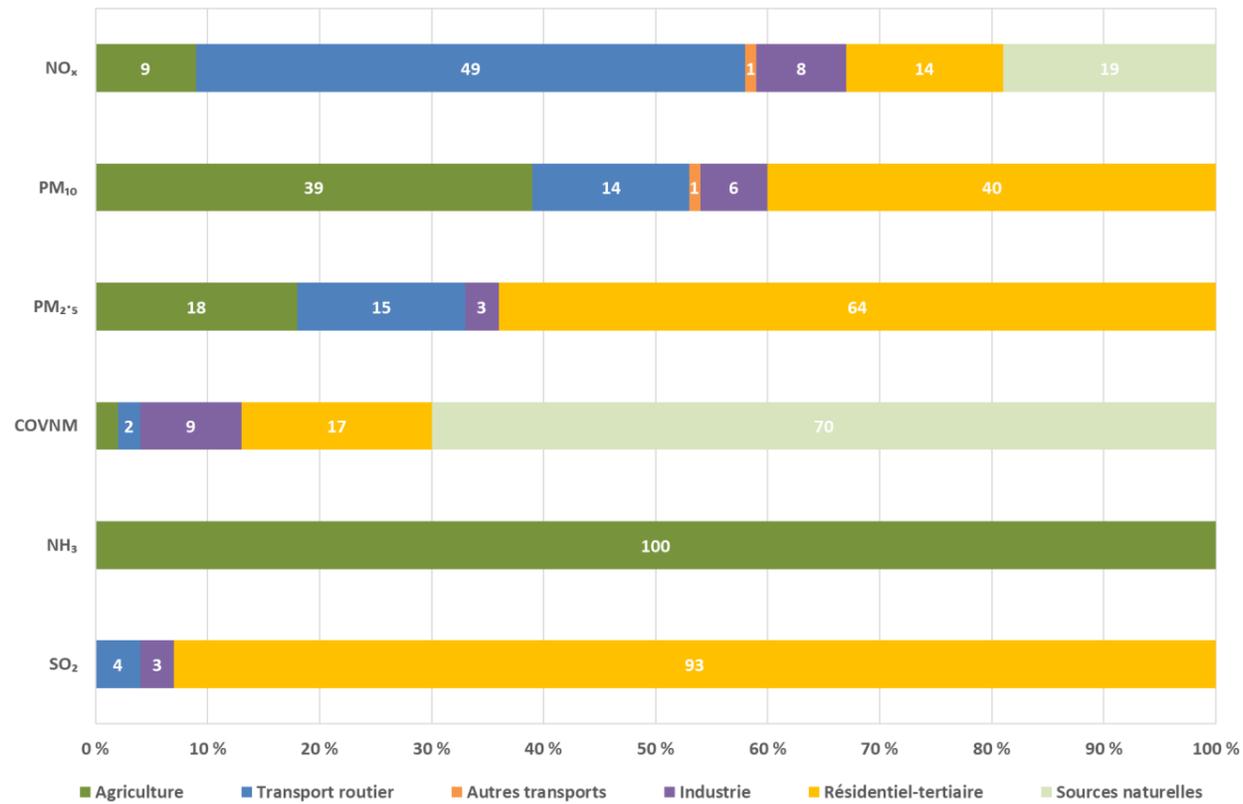


Figure 1 : part des émissions atmosphériques par secteur en 2018 – territoire Desvres-Samer (62)

Le secteur du transport routier représente l'émetteur majoritaire de dioxyde d'azote (NO_x) à l'échelle de du territoire ainsi qu'un émetteur significatif des particules PM₁₀ et PM_{2.5} (respectivement 49, 14 et 15 % des émissions globales). Ces polluants sont issus des émissions à l'échappement des véhicules mais également des émissions de particules hors échappement (usure des pneus, freins, route, remise en suspension).

Le secteur résidentiel-tertiaire représente quant à lui un émetteur majoritaire de dioxyde de soufre (SO₂), de particules PM₁₀ et PM_{2.5} (respectivement 93, 40 et 64 % des émissions globales). Les sources majeures concernant ce secteur sont principalement le chauffage (notamment au bois) et l'utilisation domestique de solvants.

Le secteur agricole est responsable de la totalité des émissions d'ammoniac (NH₃) à l'échelle de la communauté de communes. Il est également un émetteur significatif de particules PM₁₀ et PM_{2.5} (respectivement 39 et 18 % des émissions totales).

Le secteur industriel est quant à lui un émetteur peu important à l'échelle du territoire.

Globalement, les émissions de ces polluants ou famille de polluants ont tous diminué en 10 ans sur le territoire de Desvres-Samer : -37 % pour les NO_x avec 302 tonnes émises en 2018 contre 480 tonnes émises en 2008, de même pour les particules fines avec une baisse 11 % pour les PM₁₀ et 16 % pour les PM_{2.5} (129 et 79 tonnes émises en 2018 contre 145 et 95 tonnes en 2008).

II.1.2 Emissions liées au trafic routier

Les principales sources d'émissions locales liées au trafic routier sont actuellement constituées par la RD901 et la RD52 pour lesquelles le projet de déviation reliera les deux axes.



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

Le transport routier est un émetteur important d'oxydes d'azote (NO_x) et dans une moindre mesure de particules (PM₁₀ et PM_{2.5}). Des concentrations significatives en NO₂ peuvent être envisagées en bordure des principaux axes de circulation.

II.1.3] Secteur industriel

Le Registre Français des Emissions Polluantes (iREP) met à disposition les rejets atmosphériques déclarés par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). L'ADEME, à travers la plateforme SINOE, compile également les données relatives aux méthaniseurs, installations de stockage des déchets et unités de valorisation sur le territoire français.

Le croisement de ces différentes bases de données indique un seul site industriel dans un rayon de 5 km autour de la zone du projet.



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

N°	Industrie	Polluants	Emissions 2019
1	SPECITUBES SAS	Dichlorométhane	31,9 tonnes

Tableau 4 : principales industries et leurs émissions de polluants atmosphériques

L'industrie SPECITUBES SAS situé à l'ouest de Samer émet un polluant industriel spécifique (dichlorométhane) qui n'a pas d'impact sur l'augmentation des concentrations des principaux polluants émis par le trafic routier (NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}). Aucun impact industriel notable n'est donc à envisager sur la qualité de l'air dans la zone d'étude.

II.2 Population impactée

II.2.1) Population générale

Les données relatives à la population sont définies à partir de la base de données INSEE de 2017 qui effectue un maillage du nombre d'individus par carreaux de 200 m de côté. Les données obtenues pour la zone du projet sont illustrées par la figure ci-dessous.



Figure 4 : population autour de la zone du projet

Le projet se situe dans la ville de Samer dans le département du Pas-de-Calais (62). La ville de Samer compte 4 656 habitants (données INSEE 2020) pour une superficie de 16,8 km² soit une faible densité de population (environ 277 habitants/km²). Le projet de déviation est principalement situé sur des parcelles agricoles avec peu de population alentours. Il est néanmoins bordé au nord par des zones résidentielles de densité faible (quartier Longuerecque) à modérée (quartier Vernicourt). Par ailleurs des axes présentant une intersection avec la déviation (n°3 et n°6) traversent des zones résidentielles plus denses qui peuvent être impactées par les modifications de trafic.

II.2.2) Population vulnérable

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

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

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

N°	Etablissement	Type
1	Ecole maternelle Jean Moulin	Etablissement scolaire
2	Maison Familiale Rurale de Samer	Etablissement scolaire
3	Collège Le Trion	Etablissement scolaire
4	Ecole élémentaire Lucien Coustès	Etablissement scolaire
5	Ecole primaire privée Saint Wolmer	Etablissement scolaire

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

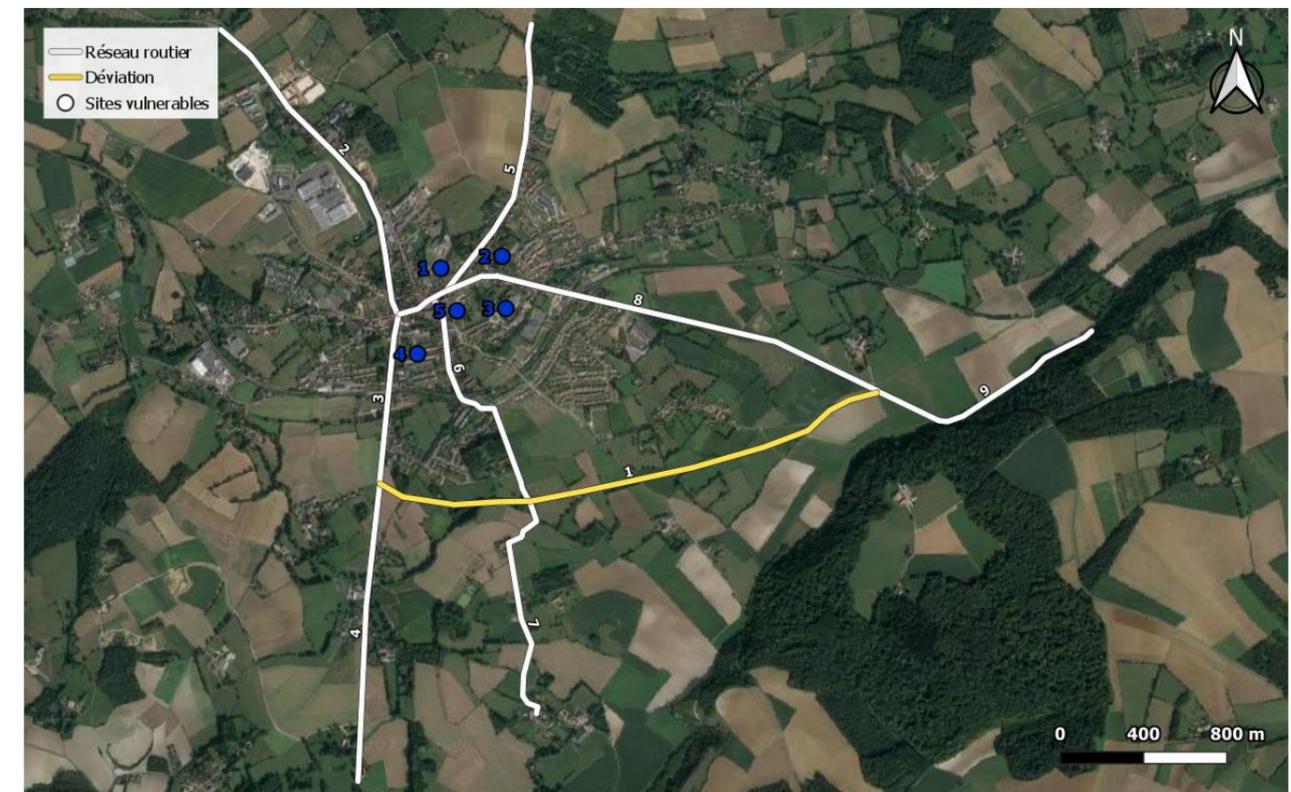


Figure 5 : localisation des sites vulnérables les plus proches de la zone de projet

Ce recensement permet de localiser 5 sites vulnérables dans l'environnement de la zone d'étude, tous situés dans le centre-ville de Samer. Ces sites sont susceptibles d'être impactés par des variations de plus de 10 % du trafic liées au projet. Dans le cas où ces sites sont localisés dans la bande d'étude, une évaluation des risques sanitaires (ERS) sera réalisée lors de la modélisation des effets du projet.

II.3 Météorologie

II.3.1) Impact des paramètres météorologiques

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

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

II.3.2) Station de référence

Pour étudier l'influence de ces paramètres, les conditions météorologiques lors de chaque campagne de mesure sont comparées aux normales saisonnières. Les normales de températures et précipitations sont constituées des observations de Météo France réalisées de 1991 à 2020 (2001 à 2020 pour les vents) et ne sont par conséquent disponibles qu'auprès des stations météorologiques implantées depuis plus de 30 ans. La station la plus proche de la zone d'étude présentant ces données est celle de Boulogne-sur-Mer, située à environ 15 km au nord-ouest du projet. Les données normales de vent, constituées par la rose décennale, sont également acquises auprès de cette station. La figure ci-dessous illustre la localisation de la station météorologique utilisée par rapport au projet.



Figure 6 : localisation de la station météorologique de référence

II.3.3) Normales météorologiques

Les figures suivantes présentent les moyennes mensuelles observées de 1991 à 2020 pour les paramètres de température et de précipitations, ainsi que la rose des vents¹ 2001-2020 de la station Météo France de Boulogne-sur-Mer :

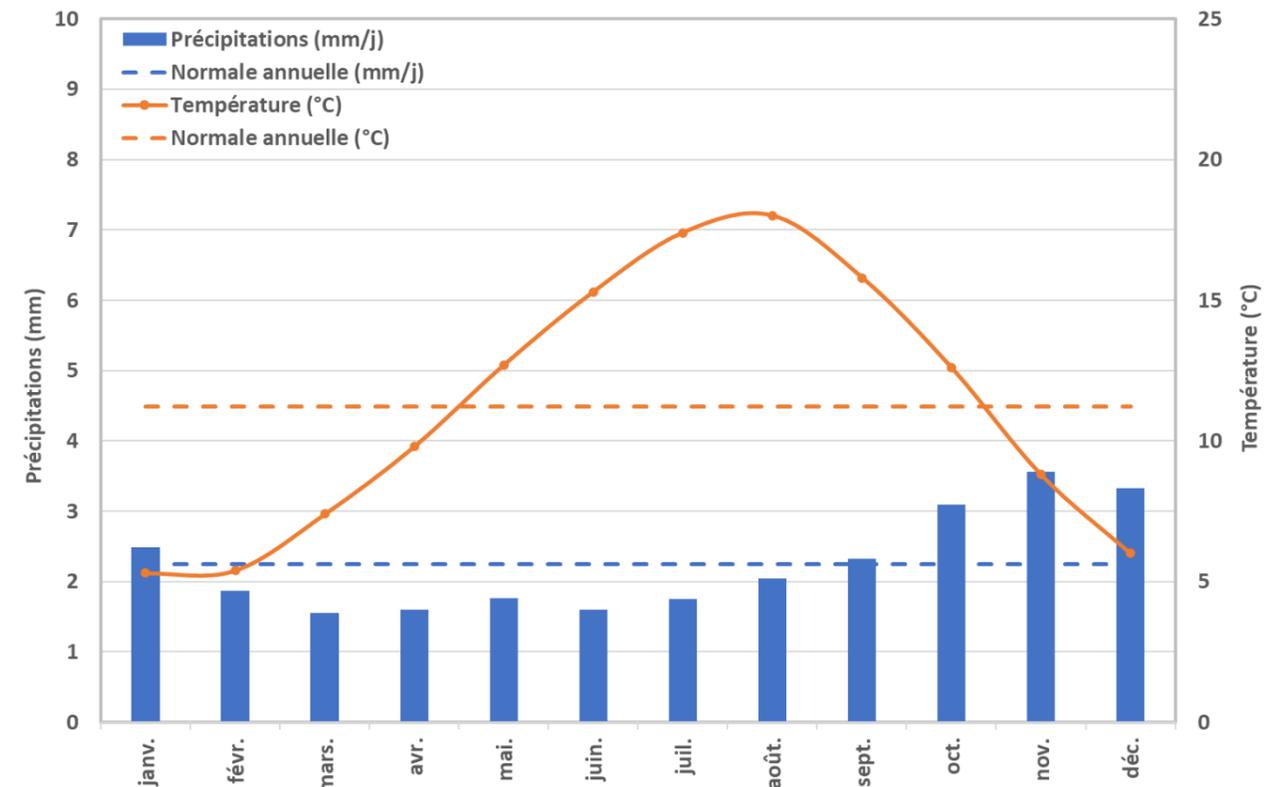


Figure 7 : normales de températures et précipitations

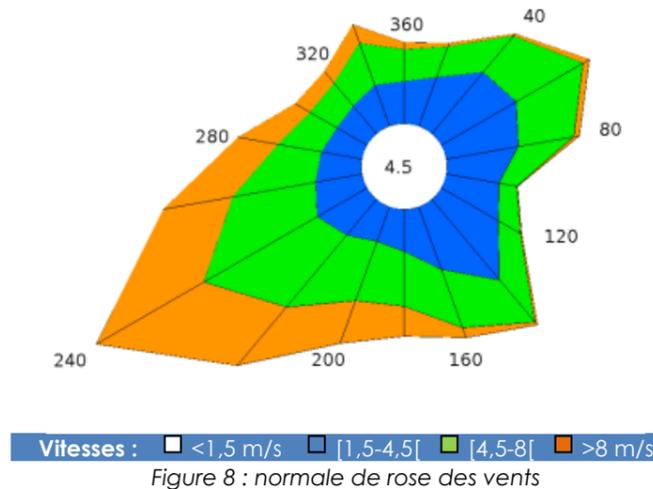


Figure 8 : normale de rose des vents

La température moyenne annuelle relevée au niveau de la station est de 11,2°C avec des maxima observées sur la période juillet/août et des minima sur la période décembre/janvier.

En moyenne sur la période 1991-2020, les précipitations sont plus importantes sur la période octobre/janvier.

La normale de rose des vents indique quant à elle un secteur sud-ouest majoritaire, ainsi que des secteurs secondaires nord-est et sud-est.

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

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

II.4 Qualité de l'air

II.4.1 Définitions

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

- Les points de **trafic** sont situés au plus près des sources d'émission polluantes constituées par les axes routiers. Ils permettent de connaître les teneurs maximales en certains polluants auxquelles la population peut être exposée ponctuellement.
- Les points de **fond** sont situés en dehors de l'influence des principales sources de pollution atmosphérique. Ils permettent de connaître l'exposition chronique à laquelle est soumise une population sur une large zone spatiale. En fonction de l'environnement du site, le terme de **fond urbain, périurbain, ou rural** peut être utilisé.

II.4.2 Station de mesure de référence

Les stations Atmo Hauts-de-France les plus proches de la zone d'étude sont celles de fond « Outreau » et de trafic « Boulogne Diderot », situées respectivement à environ 11 et 12 km au nord-ouest (cf. figure 9). Elles sont utilisées comme stations de référence pour étudier les conditions locales de pollution atmosphérique.



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

Le tableau 6 présente les évolutions annuelles entre 2018 et 2022 des polluants mesurés par les stations Atmo Hauts-de-France « Outreau » et « Boulogne Diderot » :

Station	Polluant	Valeur	Valeur limite	2018	2019	2020	2021	2022
Outreau	NO ₂	Moyenne annuelle (µg/m ³)	40	10,7	10,2	7,6	7,7	8,6
	PM ₁₀	Moyenne annuelle (µg/m ³)	40	17,0	17,5	14,8	15,4	-
		Nb de jours dont la moyenne journalière < 50 µg/m ³	35	1	-	-	-	-
Boulogne Diderot	PM ₁₀	Moyenne annuelle (µg/m ³)	40	23,1	22,2	20,1	20,0	21,8
		Nb de jours dont la moyenne journalière < 50 µg/m ³	35	12	14	1	3	-
	PM _{2.5}	Moyenne annuelle (µg/m ³)	25	12,8	11,8	10,0	10,4	10,1

Tableau 6 : moyennes annuelles des concentrations en polluants sur les stations Atmo Hauts-de-France

Dioxyde d'azote (NO₂)

Les teneurs en NO₂ relevées au niveau de la station Outreau indiquent une diminution des concentrations moyennes annuelles au cours de la période 2018-2022 (de 11 à 9 µg/m³). L'année 2020 présente un fort décrochage des concentrations qui s'explique par la mise en place des mesures sanitaires en France suite à la pandémie de Covid-19. Les moyennes annuelles mesurées respectent largement la valeur limite de 40 µg/m³ sur les cinq dernières années.

Particules PM₁₀ et PM_{2.5}

Les concentrations en PM₁₀ présente la même tendance que le NO₂ sur la période 2018-2022 avec une valeur moyenne annuelle comprise entre 23 et 20 µg/m³ en typologie de trafic et 17 et 15 µg/m³ en typologie de fond urbain (donnée non disponible en 2022). Les teneurs en PM₁₀ mesurées respectent donc largement la valeur réglementaire fixée à 40 µg/m³ en moyenne annuelle. De même, le seuil réglementaire établi à un maximum de 35 jours de dépassement de la moyenne journalière de 50 µg/m³ est largement respecté chaque année lorsque la statistique est disponible. Concernant les particules PM_{2.5}, le seuil réglementaire établi à 25 µg/m³ en moyenne annuelle est également respecté sur les 5 dernières années au niveau de la station de trafic Boulogne Diderot.

Synthèse

Ces résultats ne laissent pas envisager de dépassement des valeurs réglementaires concernant les concentrations de NO₂ et de particules fines (PM₁₀ et PM_{2.5}) dans l'environnement du projet. Cependant, la distance des stations avec la zone d'étude ne permet pas de caractériser précisément la qualité de l'air au droit du projet. Une campagne de mesure in situ est donc réalisée afin d'étudier plus distinctement la répartition des concentrations en NO₂ (principal composé émis par le trafic routier) au niveau local notamment vis-à-vis des différents axes et ainsi de mieux définir l'état initial de la qualité de l'air sur la zone du projet.

II.5 Les plans de prévention de la pollution atmosphérique

II.5.1) Les plans à l'échelle nationale

Le **Plan national de réduction des émissions de polluants (PREPA)**, défini par l'arrêté du 10 mai 2017, est un plan d'action interministériel suivi une fois par an par le Conseil National de l'Air (CNA) et révisé tous les quatre ans.

Inscrit dans l'article 64 dans la LTECV, le PREPA est composé d'une part d'un décret fixant des objectifs chiffrés de réduction des émissions des principaux polluants à l'horizon 2020, 2025 et 2030 et d'autre part d'un arrêté établissant les actions prioritaires retenues et leurs modalités opérationnelles permettant de réduire les émissions anthropiques de polluants dans l'atmosphère (dans les secteurs de l'industrie, transport et mobilité, résidentiel-tertiaire et agriculture) dans l'objectif principal de respecter les exigences européennes.

Il combine les différents outils de politique publique : réglementations sectorielles, mesures fiscales, incitatives, actions de sensibilisation et de mobilisation des acteurs, action d'amélioration des connaissances... A la suite du précédent plan (2017-2021), un nouvel arrêté en date du 8 décembre 2022 définit de nouvelles actions à mettre en œuvre pour la période 2022-2025 parmi lesquelles les mesures dans le domaine du transport sont les suivantes :

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

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

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

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

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

II.5.2) Les plans à l'échelle régionale

Le **Plan Régional Santé Environnement 3 (PRSE3) de la région Hauts-de-France**, établi sur la période 2017-2021, est une déclinaison régionale du PNSE3, renouvelé tous les 5 ans comme ce dernier. Elaboré conjointement par l'Etat, l'Agence Régionale de Santé (ARS) et la Région Hauts-de-France, le PRSE3 a été adopté en juin 2018 et comprend ainsi 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 des Hauts-de-France. Parmi les 28 actions organisées autour de 6 axes stratégiques, les actions suivantes présentent en lien direct ou indirect avec la qualité de l'air :

- Sensibiliser les futurs et jeunes parents aux risques liés à l'exposition aux polluants environnementaux
- Améliorer l'environnement intérieur des piscines (air, surfaces et bruit)
- Expérimenter un bâtiment exemplaire à usage d'habitation avec performance énergétique, confort des occupants et qualité de l'air intérieur
- Renforcer l'action des conseillers médicaux en environnement intérieur (CMEI) en région Hauts-de-France
- Maîtriser le risque de développement des légionelles dans les réseaux d'eau des établissements recevant du public
- Former les professionnels intervenant dans les établissements recevant du public à la qualité de l'air intérieur et à l'acoustique
- Former et sensibiliser les professionnels du bâtiment à la qualité de l'air intérieur (QAI) et au risque amiante
- Favoriser le changement de comportement pour améliorer la qualité de l'air extérieur

NB : à l'écriture de ce rapport, l'élaboration du PRSE4 dans la région des Hauts-de-France est en cours.

Le **Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires (SRADDET)** a été rendu obligatoire par la loi NOTRe (Nouvelle organisation territoriale de la République) du 7 août 2015. Le SRADDET de la région Hauts-de-France a été adopté par le Conseil Régional le 30 juin 2020 et approuvé par arrêté préfectoral le 4 août 2020. Il reprend notamment les éléments essentiels du Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) des anciennes régions Nord-Pas de Calais et Picardie et fixe au total 44 objectifs organisés autour de 4 dimensions :

- L'attractivité économique à travers le soutien des excellences régionales et de la région Hub logistique
- Les atouts inter-territoires à travers le Canal Seine-Nord Europe et un développement équilibré et durable du littoral
- Un modèle d'aménagement à travers un système de transport fiable et attractif et un aménagement équilibré du territoire
- La gestion des ressources à travers la sobriété et la gestion des transitions et la valorisation du cadre de vie et de la nature régionale

II.5.3) Les plans à l'échelle locale

Le **Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) interdépartemental du Nord-Pas de Calais (2017-2025)** approuvé le 27 mars 2014 et mise en œuvre signé le 1^{er} juillet 2014 par arrêté inter préfectoral. Le plan d'actions du PPA s'articule autour de 14 mesures réglementaires et de 8 mesures d'accompagnement. Elles couvrent au total les neuf grands domaines d'action suivants :

- Le chauffage au bois, les chaudières, les chaufferies collectives et les installations industrielles : interdiction d'installer des équipements de chauffage au bois non performants, limitation des émissions, information des professionnels du contrôle des chaudières et sensibilisation des particuliers (chauffage au bois)
- Le brûlage des déchets verts et de chantier à l'air libre : rappel de l'interdiction
- La mobilité et le transport : plans de déplacement rendus obligatoires pour les établissements les plus importants (entreprises, administration, établissements scolaires), covoiturage, réduction de la vitesse, flottes de véhicules, modes de déplacements moins polluants, plans de déplacement urbain, charte « CO₂, les transporteurs s'engagent »



- o L'aménagement du territoire : prise en compte de la qualité de l'air dans les documents de planification (SCoT, PLU, PDU, PLUi) et les études d'impacts liés aux projets d'aménagement
- o L'usage de produits phytosanitaires : dispositif Ecophyto, sensibilisation et formation
- o Le réglage des engins de travail du sol (engins agricoles, engins forestiers, engins utilisés pour les espaces verts et la voirie) : passage sur banc d'essai moteur
- o Les émissions industrielles : limitation des émissions, amélioration des connaissances et de la surveillance
- o Les épisodes de pollution : mise en œuvre de la procédure inter préfectorale d'information d'alerte de la population
- o La sensibilisation du grand public sur le long terme

La loi « Transition Energétique pour la Croissance Verte » du 17 août 2015 a rendu obligatoire la réalisation d'un **Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET)** depuis 1^{er} janvier 2017 dans les établissements publics de coopération intercommunale (EPCI) à fiscalité propre de plus de 20 000 habitants.

Dans ce cadre, le Pays Boulonnais – qui regroupe trois intercommunalités dont la communauté de Communes de Desvres-Samer dans laquelle se situe le projet – a produit un PCAET qui couvre la période 2021-2026 et 74 communes. Ce dernier a été validé par les 3 EPCI lors des conseils communautaires de décembre 2019. Le plan se structure autour de 6 orientations majeures autour desquelles s'articulent 21 objectifs stratégiques déclinés en 56 actions :

- Faire de la transition énergétique et écologique un levier de développement territorial avec un enjeu de sobriété
- Développer les productions et les consommations d'énergies renouvelables locales pour réduire la dépendance du territoire aux énergies fossiles
- Gérer durablement les ressources en assurant la qualité du cadre de vie et de la biodiversité afin de contribuer au bien-être de la population
- Entreprendre, produire et consommer durablement en développant une économie circulaire pour un territoire attractif et innovant
- Favoriser les proximités et les mobilités moins carbonées pour réduire l'impact carbone et les flux de circulation et améliorer le mieux vivre
- Réduire l'impact énergétique des bâtiments pour engager le territoire dans la transition énergétique

Parmi les actions à visée « climatique », certaines présentent des synergies avec l'amélioration de la qualité de l'air :

- Action 40 - Structurer la mobilité décarbonée
- Action 41 - Développer et organiser l'écomobilité dans les déplacements domicile-école
- Action 42 - Développer et organiser l'écomobilité dans les déplacements domicile-travail
- Action 43 - Favoriser l'utilisation des transports en commun
- Action 44 - Développer la multimodalité en s'appuyant sur des pôles de transports structurants
- Action 45 - Sauvegarder et promouvoir le réseau ferré et les gares
- Action 46 - Fluidifier les transports de marchandises et mettre en place une logistique de traitement du dernier kilomètre

III. ETAT INITIAL : CAMPAGNE DE MESURE

III.1 Prélèvement et analyse

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 (NO₂)**. Pour les études de niveau II ou supérieur, des mesures complémentaires de particules PM₁₀ peuvent être réalisées sur demande de l'autorité environnementale. En l'absence de spécifications dans le cadre de ce projet, seul le NO₂ est intégré aux mesures.

III.1.2) Mesure du dioxyde d'azote

Les mesures du dioxyde d'azote (NO₂) sont réalisées par capteurs à diffusion passive, conformément à la norme NF EN 16339². Le principe du prélèvement est celui de la diffusion naturelle de l'air à travers une cartouche contenant un adsorbant spécifique au NO₂ (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 NO₂ 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 NO₂ de 1 à 200 µg/m³ avec une limite de quantification de 0,6 µg/m³ (pour deux semaines de mesure).

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.

En tenant compte de ces paramètres et de la dimension du projet, l'échantillonnage est établi pour **15 points de mesure du NO₂**.

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 NO₂.

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	Localisation	N°	Type	Localisation
P1	Trafic	RD901	P9	Fond	Place de l'Abbaye (site vulnérable – école)
P2	Trafic	Transect RD901	P10	Fond	Rue des Allées – zone résidentielle proche future déviation
P3	Trafic	Transect RD901	P11	Fond	Rue de Longuerèques – zone résidentielle proche future déviation
P4	Trafic	Croisement RD901 / RD215	P12	Fond	RD238 – maison proche future déviation
P5	Trafic	RD52	P13	Fond	Route de la Blanche Jument - maison proche future déviation
P6	Trafic	Transect RD52	P14	Fond	Rue Edith Piaf – zone résidentielle proche future déviation
P7	Trafic	Transect RD52	P15	Fond	Le Fort Manoir – maison proche future déviation
P8	Fond	Rue Ferdinand Farjon (site vulnérable – école Lucien Coustès)			

Tableau 7 : plan d'échantillonnage

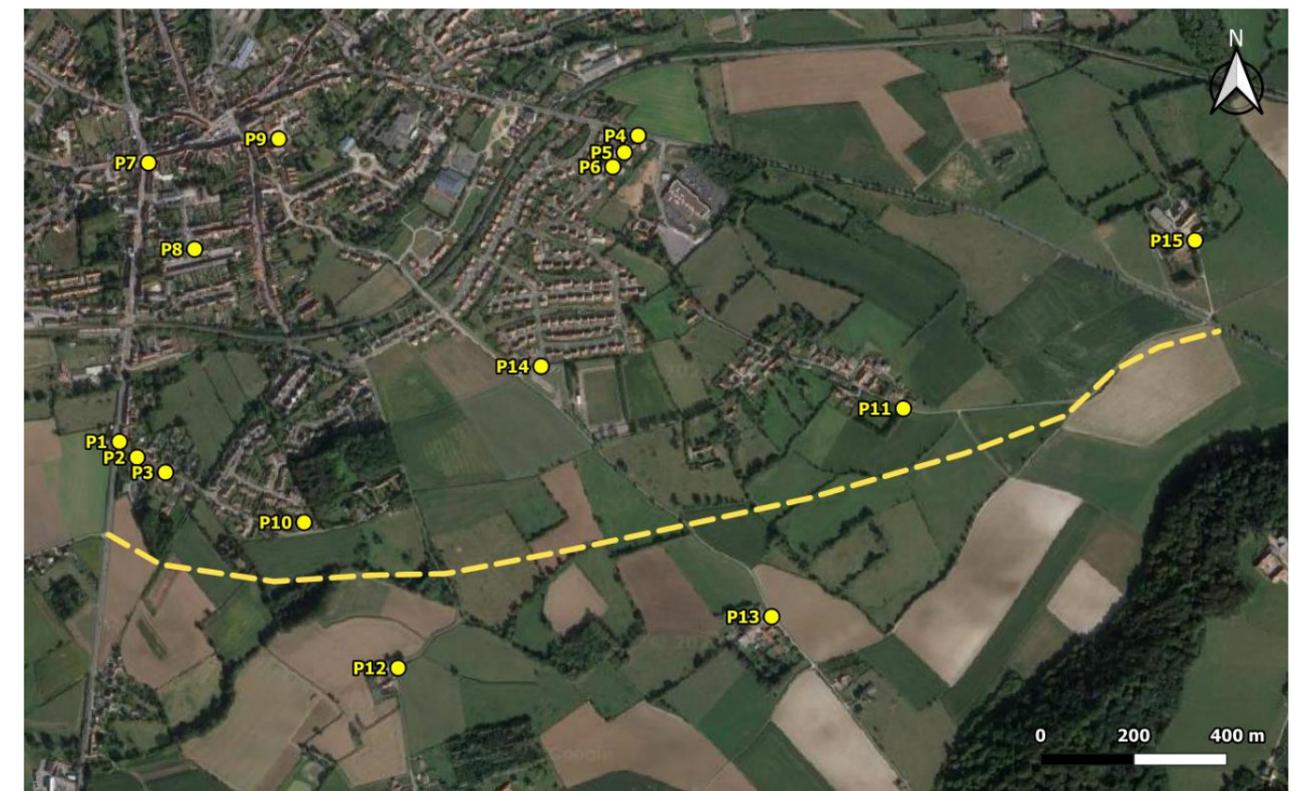
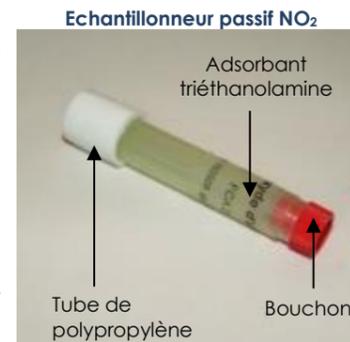


Figure 10 : plan d'échantillonnage

III.2.2) Période de mesure

Les concentrations en polluants atmosphériques présentent un comportement saisonnier marqué ce qui est principalement dû aux variations des sources d'émission et des conditions météorologiques. Dans le cadre de cette étude, **une seule campagne de mesure** est dimensionnée afin de répondre aux exigences de délais. 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 **mardi 2 mai au mardi 16 mai 2023**.

² Norme NF EN 16339 : Air ambiant - Méthode pour la détermination de la concentration du dioxyde d'azote au moyen d'échantillonneurs par diffusion.

III.3 Résultats de la campagne

III.3.1) Conditions météorologiques

- o 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 Météo France de Boulogne-sur-Mer (62).

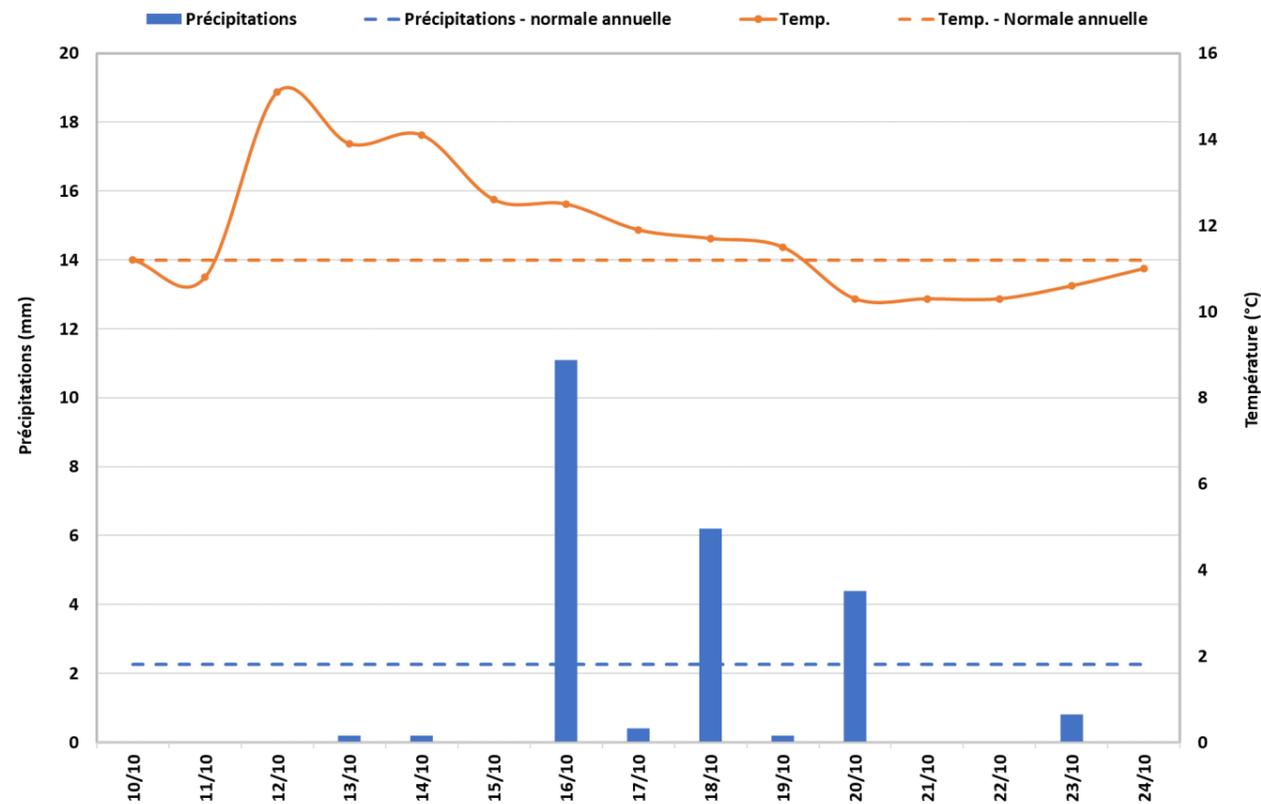


Figure 11 : étude des températures et précipitations (données : Météo France)

Les températures relevées lors de la campagne de mesure indiquent une moyenne légèrement plus forte que la normale annuelle (11,9°C contre 11,2°C) n'indiquant pas d'effet majeur sur les concentrations en NO₂. Les précipitations sont quant à elles légèrement plus faibles que la normale (1,6 mm contre 2,3 mm en cumul moyen journalier) cependant elles ont peu d'impact sur les polluants gazeux.

- o Conditions de vent

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

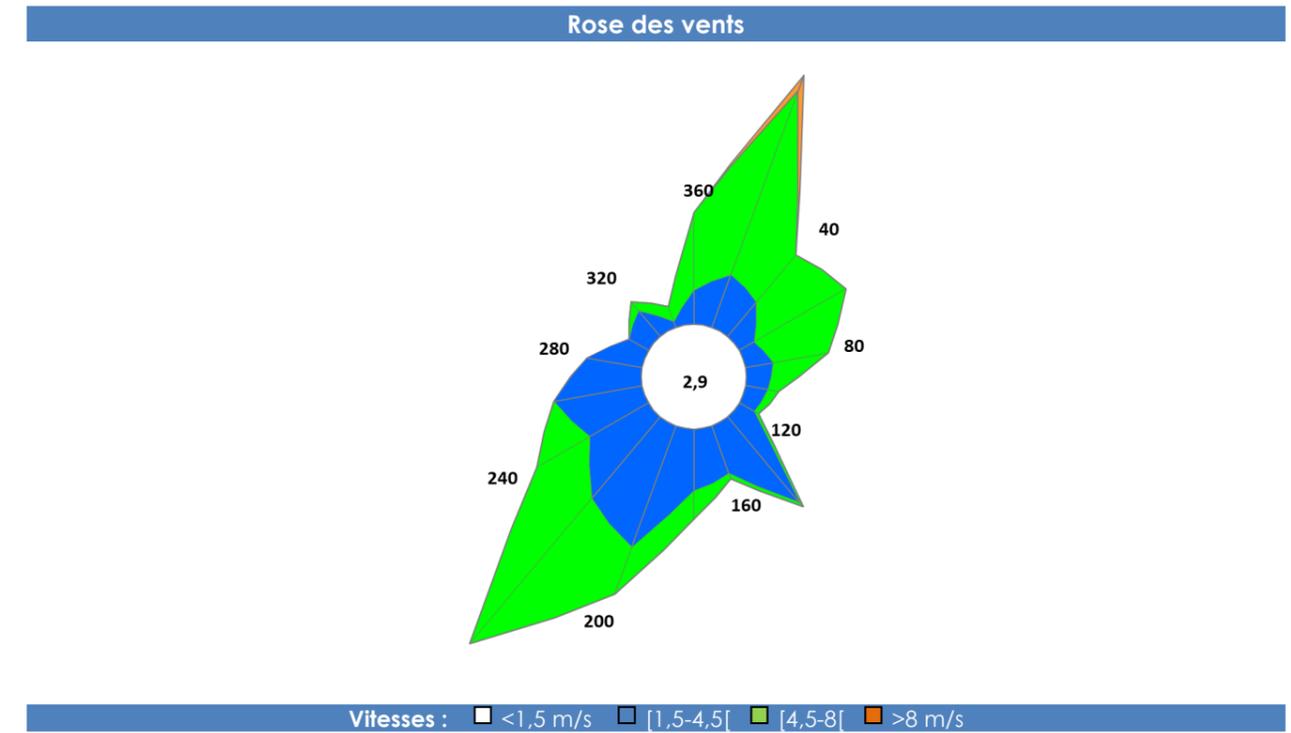


Figure 12 : étude des conditions de vent (données : Météo France)

La rose des vents est caractérisée par des secteurs sud-ouest/nord-est représentatifs des normales. Les vitesses de vents relevées pendant la campagne sont légèrement plus élevées par rapport aux normales (seulement 2,9 % des vents sont inférieurs à 1,5 m/s contre 4,5 % pour la normale), ce qui indique une dispersion importante au cours de la période de mesure.

III.3.2) Conditions de pollution atmosphérique

Les concentrations en NO₂ enregistrées par Atmo Hauts-de-France au niveau des stations « Outreau » et « Boulogne Diderot » sur l'année 2022 et la période de mesure sont comparées dans le tableau ci-dessous :

Station	Polluant	Moyenne Campagne (µg/m ³)	Moyenne Année 2022 (µg/m ³)	Ecart (%) Campagne / 2022
Outreau	NO ₂	7,4	8,6	-13,3 %
Boulogne Diderot	NO ₂	NC	NC	-

Tableau 8 : étude des données Atmo Hauts-de-France

En lien avec les conditions météorologiques indiquant des conditions dispersives, les teneurs en NO₂ sont légèrement plus faibles lors de la campagne de mesure qu'en moyenne annuelle (environ -13 %) au niveau de la station de fond d'Outreau. Les données de la station Boulogne Diderot ne sont pas disponibles sur la période de mesure et l'année 2022.

III.3.3) Validité des mesures par capteurs passif

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

- o 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.
- o 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 standard³ sur les valeurs obtenues permet de situer les mesures par rapport aux biais éventuels engendrés par la méthode de prélèvement et d'analyse.

Facteurs de validité	NO ₂
Concentration du blanc pour une exposition théorique de 2 semaines	< 0,6 µg/m ³
Concentration moyenne doublet	7,0 µg/m ³
Ecart standard du doublet	2,6 %
Incertitude théorique élargie (donnée Passam)	20,3 %

Tableau 9 : facteurs de validité des mesures

La concentration en NO₂ mesurée sur le blanc est inférieure à la limite de détection, indiquant l'absence de contamination des supports. L'incertitude élargie représente l'écart maximal pouvant être obtenu sur une mesure en incluant tous les biais potentiels liés au prélèvement et à l'analyse avec un intervalle de confiance de 95 %. L'écart standard calculé sur les résultats du doublet est inférieur à cette incertitude et indique donc une bonne répétabilité de la mesure.

III.3.4) Concentrations en NO₂

Les concentrations en NO₂ mesurées sur chaque point est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Typologie	T	F	F	T	F	F	T	F	F	F	F	F	F	F	F
Concentration NO ₂	14,8	10,9	9,6	26,6	12,9	9,4	8,9	8,6	9,7	7,4	7,4	7,0	7,0	8,7	7,4

Tableau 10 : résultats des mesures pour le NO₂ (µg/m³)

III.3.5) Cartographie des résultats

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



Figure 13 : cartographie des résultats

Les concentrations en NO₂ mesurées dans l'environnement du projet sont faibles à modérées, avec des valeurs comprises entre 7,0 et 26,6 µg/m³. Le point de trafic P4 présente la concentration la plus élevée avec une valeur supérieure à 20 µg/m³, ce qui s'explique par sa proximité immédiate avec la RD52. Les autres points présentent des valeurs inférieures à 20 µg/m³, y compris le point de trafic P1 situé en bordure de la RD901 (14,8 µg/m³). Les points de fond, plus caractéristiques de l'exposition chronique de la population à la pollution (centre de Samer, quartiers résidentiels...) enregistrent les concentrations les plus faibles de la zone et sont globalement toutes inférieures à 10 µg/m³.

³ Ecart standard : critère de dispersion pour une série de données correspondant à la moyenne des écarts entre les valeurs observées (écart type) et la moyenne des valeurs observées.

III.4 Comparaison à la réglementation

III.4.1) Cadre réglementaire

Les valeurs utilisées pour comparer les résultats de la campagne de mesure à la réglementation sont issues du décret n°2010-1250 (cf. annexe 1). La comparaison aux moyennes annuelles est réalisée uniquement à titre indicatif étant donné que les résultats ne sont représentatifs que de deux semaines de mesure⁴ et que les projets d'aménagement ne sont pas soumis au respect de ce type de valeurs⁵.

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

III.4.2) Dioxyde d'azote (NO₂)

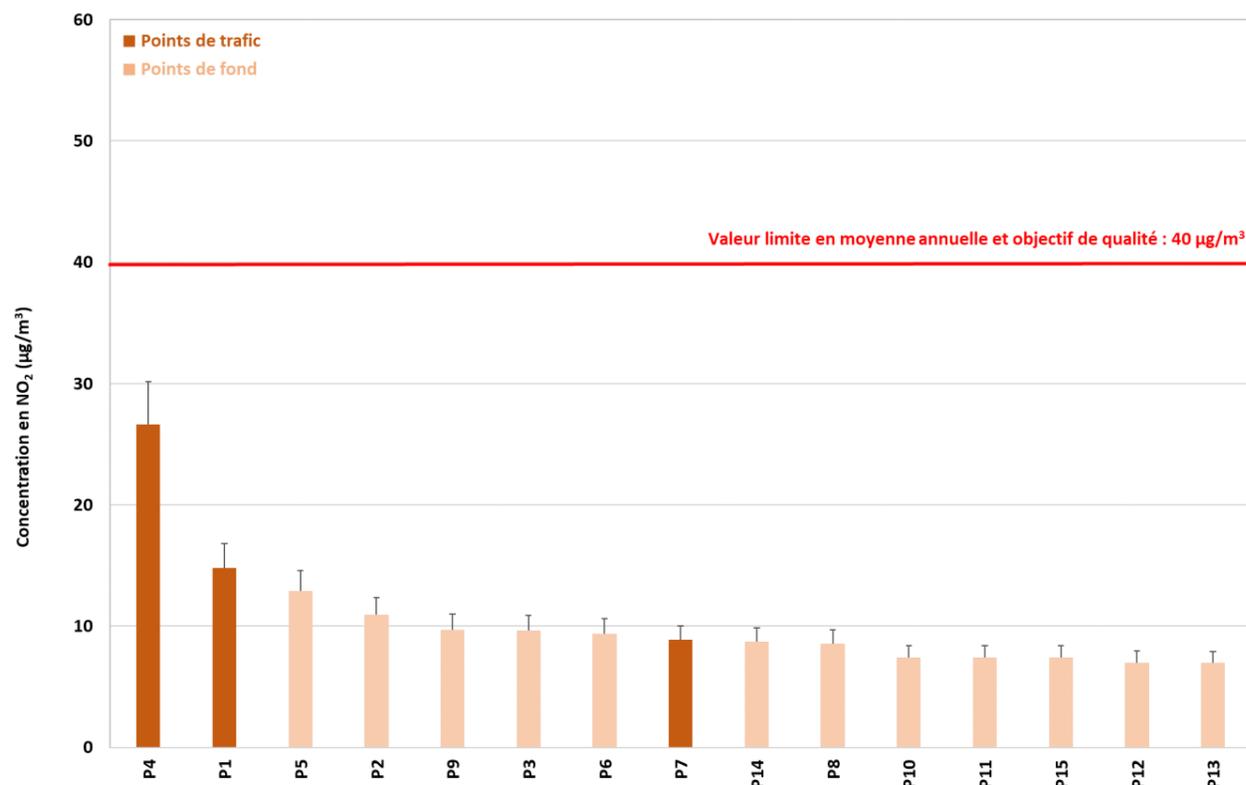


Figure 14 : comparaison des résultats des mesures NO₂ à la réglementation

La distribution des concentrations est relativement cohérente avec la typologie des points de mesure. L'ensemble des points présentent une concentration en NO₂ inférieure à la valeur limite (40 µg/m³ en moyenne annuelle). Bien que la campagne de mesure se caractérise par des teneurs en NO₂ plus faibles d'environ 13 % par rapport à la moyenne annuelle, aucun dépassement de la valeur réglementaire n'est envisagé dans la zone d'étude, que ce soit en typologie de fond ou en bordure des axes routiers.

IV. EFFETS DU PROJET : ESTIMATION DES EMISSIONS POLLUANTES

IV.1 Méthodologie

IV.1.1) Méthode de calcul

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

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

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

- o Oxydes d'azote (NO_x)
- o Dioxyde de soufre (SO₂)
- o Monoxyde de carbone (CO)
- o Benzo[a]pyrène
- o Composés Organiques Volatils (COV)
- o Benzène (C₆H₆)
- o Particules émises à l'échappement (PM_{2.5} et PM₁₀)
- o Arsenic (As) et nickel (Ni)

En complément, les résultats présentent la consommation énergétique et les émissions des principaux gaz à effet de serre (GES) : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O).

IV.1.2) Données de trafic

Les hypothèses suivantes sont prises par Rincenc Air pour compléter les données issues du document référencé « Liaison RD901 - RD52 - Contournement Sud de Samer - Note complémentaire à la notice environnementale - Analyse des incidences des nouveaux trafics 2022 » :

- o En l'absence de scénario « état actuel 2023 » les données de trafic sont prises égales aux données de trafic du scénario « horizon de mise en service sans projet ». L'année considérée pour la répartition du parc roulant est 2023.
- o Les vitesses moyennes pratiquées sur chacune des voies sont issues de la base de données BD_TOPO d'IGN et des informations du département du Pas de Calais. Elles sont prises égales pour tous les scénarios.

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

N°	Brin routier	TMJA Actuel		TMJA Futur sans projet		TMJA Futur avec projet		Vitesse km/h
		VL	PL	VL	PL	VL	PL	
1	Projet de déviation	0	0%	0	0%	3 346	12%	80
2	RD901 nord Samer	8 414	8%	8 414	8%	8 414	8%	50
3	RD901 sud Samer et nord déviation	6 107	10%	6 107	10%	7 749	10%	50
4	RD901 sud Samer et sud déviation	6 107	10%	6 107	10%	6 107	10%	50
5	RD238 nord Samer	917	3%	917	3%	917	3%	50
6	RD238 sud Samer et nord déviation	201	7%	201	7%	201	7%	50
7	RD238 sud Samer et sud déviation	201	7%	201	7%	201	7%	58
8	RD52 est Samer et ouest déviation	5 030	9%	5 030	9%	1 935	6%	50
9	RD52 est Samer et est déviation	5 030	9%	5 030	9%	5 030	9%	80

Tableau 11 : données de trafic

⁴ La directive européenne du 21 mai 2008 qui indique que les mesures de la qualité de l'air par méthode indicative peuvent être considérées comme représentatives d'une situation annuelle si elles sont réalisées durant un minimum de huit semaines uniformément réparties dans l'année.

⁵ Arrêt n°11NC01593 du 7 février 2013 rendu par la Cour Administrative d'Appel de Nancy, qui précise que si les valeurs limites réglementaires constituent un objectif à rechercher dans l'élaboration de tout projet, elles ne constituent pas pour autant une prescription s'imposant en tant que telles à un projet.

IV.1.3) Facteurs d'émissions unitaires

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

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

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

IV.1.4) Parc de véhicules

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

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

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

IV.1.5) Scénarios considérés

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

- La situation actuelle (2023)
- La situation futur sans projet (2027)
- La situation futur avec projet (2027)

IV.1.6) 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 ≤ 50 000	400
10 000 > T ≤ 25 000	300
≤ 10 000	200

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

La figure 15 suivante présente la bande d'étude relative au projet.

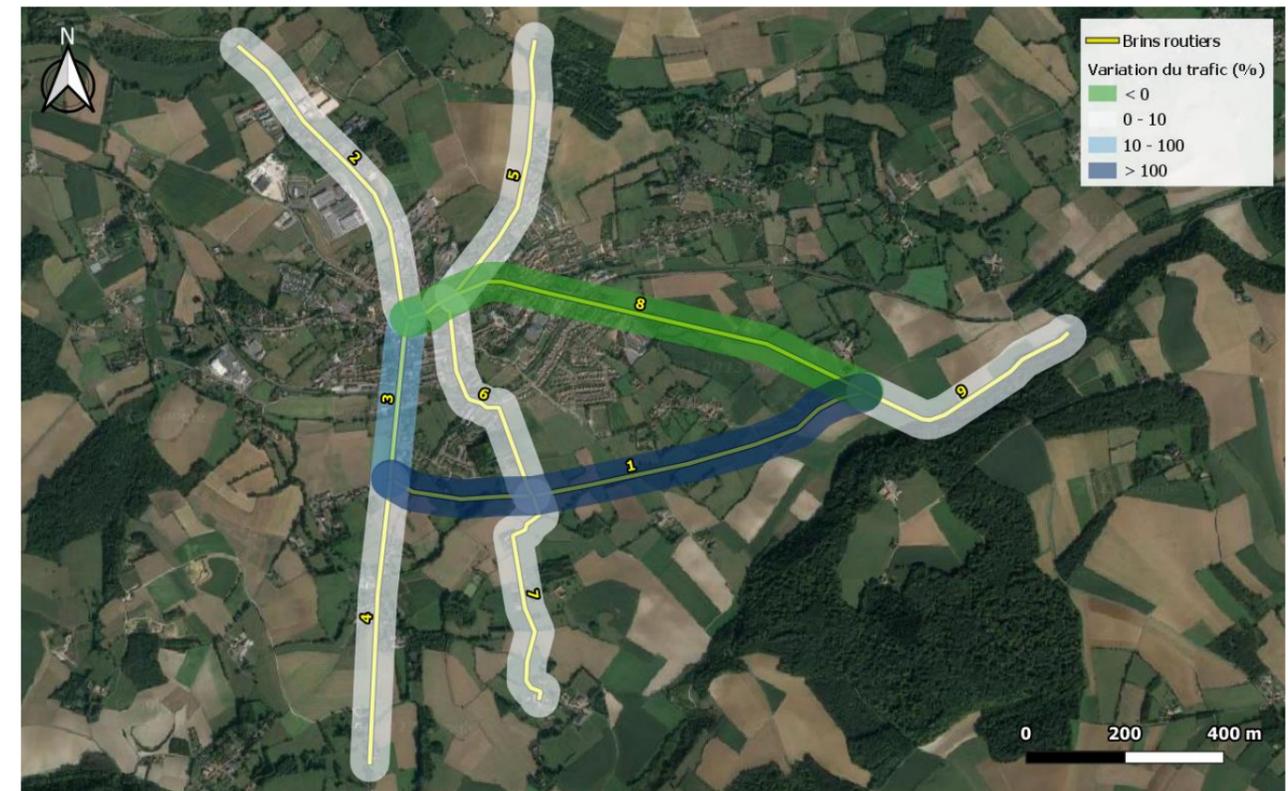


Figure 15 : bande d'étude

IV.2 Résultats du calcul des émissions polluantes

IV.2.1) Emissions polluantes globales

Les tableaux ci-dessous présentent les émissions totales pour l'ensemble du réseau routier considéré pour l'état actuel (2023) et l'état futur à l'horizon de mise en service du projet (2027) pour les polluants à effets sanitaires (PES) et les gaz à effet de serre (GES) :

Emissions	Unité	Actuel	Futur sans projet	Variation Futur sans projet / Actuel	Futur avec projet	Variation Futur avec projet / Actuel	Variation Futur avec projet / sans projet
CO	kg/j	17,0	12,8	-25 %	12,5	-27 %	-3 %
Benzène	g/j	21,1	11,0	-48 %	10,3	-51 %	-7 %
Benzo[a]pyrène	g/j	0,0	0,0	-11 %	0,0	-6 %	5 %
Arsenic	g/j	0,0	0,0	1 %	0,0	4 %	3 %
SO ₂	kg/j	0,1	0,1	3 %	0,1	5 %	3 %
Nickel	g/j	0,0	0,0	4 %	0,0	6 %	2 %
COVM	kg/j	0,7	0,6	-16 %	0,6	-19 %	-4 %
NO _x	kg/j	18,6	13,6	-27 %	13,7	-27 %	1 %
PM _{2,5}	kg/j	1,2	1,1	-11 %	1,1	-10 %	1 %
PM ₁₀	kg/j	1,8	1,6	-8 %	1,7	-6 %	1 %

Tableau 13 : bilan des émissions de PES

Emissions	Unité	Actuel	Futur sans projet	Variation Futur sans projet / Actuel	Futur avec projet	Variation Futur avec projet / Actuel	Variation Futur avec projet / sans projet
Consommation	tep/j	3,0	3,0	-1 %	3,1	3 %	4 %
CO ₂	t/j	9,5	9,4	-1 %	9,7	2 %	4 %
N ₂ O	t/j	0,5	0,5	-4 %	0,5	-2 %	2 %
CH ₄	t/j	0,2	0,2	-23 %	0,2	-22 %	1 %

Tableau 14 : bilan des émissions de GES

Une baisse globale des émissions de PES peut être constatée entre le scénario futur avec projet et le scénario actuel (environ -13 %). Celle-ci s'explique par les hypothèses de mise en circulation de véhicules moins polluants entre 2023 et 2027 sur la base des données UGE-IFSTAR du parc circulant.

La variation du trafic routier dans la zone d'étude entre les scénarios futurs avec et sans projet entraîne une variation des émissions polluantes comprises entre -7 % et +5 % (légère augmentation d'environ 1 % pour les NO_x et les PM₁₀). **Globalement à l'horizon 2027 le scénario avec projet entraîne une variation non significative des émissions polluantes moyennes (+0,2 %) par rapport au scénario sans projet (fil de l'eau).**

IV.2.2) Cartographie des émissions

En retenant les NO_x comme les polluants les plus représentatifs de la pollution routière, les figures suivantes permettent de visualiser les émissions en gramme par jour et par mètre pour le scénario actuel (2023), futur sans projet (2030) et futur avec projet (2030).



Figure 16 : émissions de NO_x – scénario actuel

En lien avec les données de circulation, les émissions de NO_x les plus importantes dans la zone d'étude sont constatées à l'état actuel au niveau de la RD901 (toutes sections : brins N°2, 3 et 4) et de la RD52 (brin n°8). Les émissions restent globalement modérées sur ces axes (comprises entre 2 et 4 g/jour/m).



Figure 17 : émissions de NO_x – scénario futur sans projet



Figure 18 : émissions de NO_x – scénario futur avec projet

IV.2.3) Etude des variations liées au projet

La figure suivante présente les variations des émissions de NO_x entre les scénarios avec et sans projet à l'horizon 2027 :



Figure 19 : variation émissions de NO_x avec / sans projet

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

N°	Brin routier	Emissions de NO _x (g/j/m)			Variation Futur avec/sans projet (%)
		Actuel	Sans projet	Avec projet	
1	Projet de déviation	0,00	0,00	0,82	+ ∞
2	RD901 nord Samer	3,29	2,42	2,42	0
3	RD901 sud Samer et nord déviation	2,58	1,86	2,34	+26
4	RD901 sud Samer et sud déviation	2,58	1,86	1,86	0
5	RD238 nord Samer	0,29	0,22	0,22	0
6	RD238 sud Samer et nord déviation	0,08	0,06	0,06	0
7	RD238 sud Samer et sud déviation	0,07	0,05	0,05	0
8	RD52 est Samer et ouest déviation	2,02	1,48	0,52	-65
9	RD52 est Samer et est déviation	1,64	1,17	1,17	0

Tableau 15 : récapitulatif des émissions de NO_x par brins routiers

A horizon 2027, les augmentations d'émissions polluantes les plus importantes sont observées sur l'axe créé pour la déviation. Les émissions de NO_x sur ce dernier sont cependant relativement faibles (inférieures à 1 g/jour/m) au regard du réseau d'étude considéré. Les émissions les plus importantes sont constatées au niveau de la RD901 (brins N°2 et 3). La création de la déviation entraîne une augmentation de 26 % sur le brin n°3 par rapport au scénario futur sans projet. Enfin il est à noter une diminution significative des émissions sur le brin n°8 du fait du report de trafic sur la déviation.

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^{er} 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 évalue le coût des impacts sanitaires des principaux polluants émis par la circulation routière (PM_{2.5}, NO_x, COVNM et SO₂) pour l'année de référence 2010. Ce coût varie selon la catégorie de véhicules (véhicules particuliers ou poids lourds) ainsi que selon la densité urbaine. Le tableau 16 présente les valeurs tutélaires fixées selon ces paramètres :

Typologie	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Plage de densité (hab./km ²)	0-37	37-450	450-1500	1500-4500	>4500
Coût VP (€/100 Véh.km)	0,9	1,0	1,3	3,1	11,1
Coût PL (€/100 Véh.km)	6,4	9,4	17,7	37,0	186,6

Tableau 16 : valeurs tutélaires du coût de la pollution liée au trafic routier

La densité de population dans la zone d'étude est prise égale à la densité de population de la ville de Samer avec 277 habitants/km² (données INSEE 2020). Les valeurs tutélaires sont donc sélectionnées sur la gamme « urbain diffus ».

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 :

- o Le PIB par habitant n'est connu qu'à échéance de l'année civile. La dernière donnée disponible est celle de l'année 2021. Entre 2010 et 2021, la moyenne annuelle de l'évolution du PIB par habitant est de 0,69 % en France selon les chiffres de la Banque Mondiale⁶. Ce chiffre est utilisé pour estimer l'évolution annuelle du PIB jusqu'à l'horizon de mise en service du projet.
- o L'évolution du parc circulant entre 2010 et 2021 est de 0,85 % en moyenne annuelle d'après les statistiques du ministère de la Transition écologique et solidaire⁷. L'évolution du trafic entre le scénario actuel et le scénario futur est prise d'après les données de l'étude de circulation.
- o L'évolution des émissions polluantes des véhicules depuis 2010 est prise à -6 % en moyenne annuelle conformément à la valeur proposée par le rapport Quinet. L'évolution entre le scénario actuel et les scénarios futurs est reprise des calculs effectués dans le paragraphe IV.2.1)⁸.

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

	Actuel		Futur sans projet		Futur avec projet	
	Brut	Evolution / 2010	Brut	Evolution / 2010	Brut	Evolution / 2010
PIB par habitant (€)	34 915	8,5%	35 886	11,5%	35 886	11,5%
TMJA total du projet (véh/j)	32 007	11,4%	32 007	11,4%	33 900	20,3%
Emissions PM _{2.5} + NO _x + COVNM + SO ₂ (kg/j)	2,0	-53,9%	1,8	-59,6%	1,8	-59,8%
Evolution globale		-44,3%		-49,8%		-46,1%

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 :

Scénario	2010	Actuel	Futur sans projet	Futur avec projet
Evolution globale depuis 2010	0,0%	-44,3%	-49,8%	-46,1%
Valeur tutélaire VP (€/100 véh.km)	1,0	0,6	0,5	0,5
Valeur tutélaire PL (€/100 véh.km)	9,4	5,2	4,7	5,1

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	Actuel	Futur sans projet	Futur avec projet
Trafic VP (véh.km) / jour	43 444	43 444	45 303
Trafic PL (véh.km) / jour	4 060	4 060	4 379
Coût VP (€/j)	242	218	244
Coût PL (€/j)	212	191	222
Coût total (€/j)	454	409	466

Tableau 19 : coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique

Les coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique **augmentent d'environ 13,8 %** 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 2019⁹. Ce rapport prévoit une évolution linéaire de la tonne de CO₂ 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 CO₂ de 500 € en 2040 à 775 € en 2050, correspondant à une évolution annuelle d'environ 4,5 %. Le présente les coûts correspondant pour chaque scénario du projet.

	Actuel	Futur sans projet	Futur avec projet
Coût de la tonne de CO ₂ (€/t)	173,7	217,3	217,3
CO ₂ émis (t/j)	9,5	9,4	9,7
Coût CO ₂ émis (€/j)	1645,3	2032,2	2109,1

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

La mise en place du projet entraîne **une augmentation d'environ 3,8 %** des coûts collectifs liés à l'effet de serre par rapport à la situation sans projet.

⁶ La Banque Mondiale. Croissance du PIB par habitant entre 2010 et 2019.

⁷ Service de la donnée et des études statistiques. Développement Durable. Données sur le parc des véhicules au 1^{er} janvier 2020.

⁸ A l'exception des particules PM_{2.5} qui ne figurent pas dans le bilan des émissions car cette fraction granulométrique est déjà comprise dans les PM₁₀. Les données pour les PM_{2.5} sont reprises des résultats des calculs d'émissions par le logiciel TREFIC™.

⁹ La valeur de l'action pour le climat. Une valeur tutélaire du carbone pour évaluer les investissements et les politiques publiques Rapport de la commission présidée par Alain Quinet. Fév. 2019. Centre d'analyse stratégique. La Documentation française.

V. EFFETS DU PROJET : MODELISATION DES CONCENTRATIONS

V.1 Méthodologie

5.1.1) Modèle

La modélisation des concentrations est réalisée à l'aide du logiciel **AMDS-Roads** (Atmospheric Dispersion Modelling System) version 5.0.1.3. Ce modèle de dispersion atmosphérique 2D de type gaussien de seconde génération est développé par le CERC (Cambridge Environmental Research Consultants). Il intègre des modules de traitement des données météorologiques et topographiques, ainsi que de prise en compte des rues « canyon » et des murs « antibruit » selon les cas d'étude.

Les concentrations en polluants sont modélisées sur des mailles de calcul de 15 m à partir des sources d'émissions linéiques issues du trafic routier qui sont ensuite additionnées aux concentrations de fond dans la zone d'étude pour évaluer l'exposition des populations. Les données d'entrée utilisées sont détaillées ci-après.

5.1.2) Emissions polluantes

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

Les émissions calculées pour les NO_x sont converties en NO₂ selon la formule de Middleton :

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

$$[NO] = [NO_x] - [NO_2] \quad \text{où } [NO], [NO_2] \text{ et } [NO_x] \text{ sont les concentrations en ppb}$$

5.1.3) Météorologie

La dispersion est modélisée avec les données horaires de vent sur 1 an (2022) acquises auprès de la station Météo France du Touquet (62). La figure 20 présente la rose des vents des données utilisées. La rose des vents est majoritairement caractérisée par des secteurs sud-ouest et sud-est.

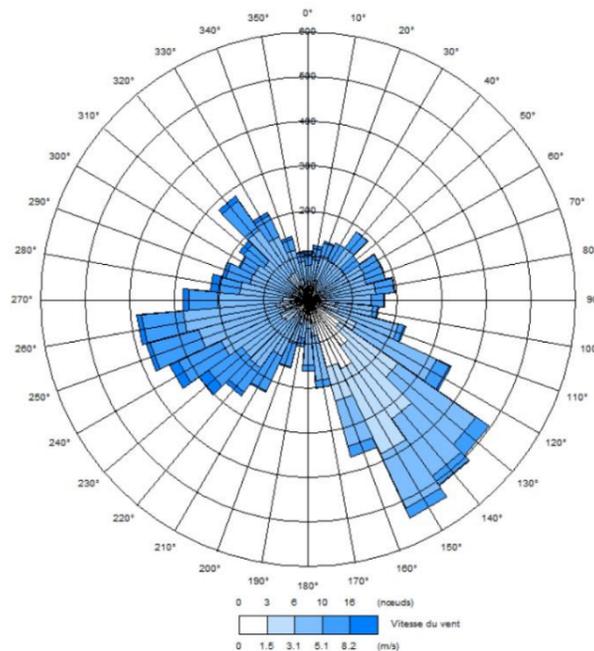


Figure 20 : rose des vents utilisée pour la modélisation

5.1.4) Topographie

La topographie est issue du modèle numérique de terrain (MNT) RGE ALTI® produit par l'IGN avec une résolution de 25 mètres. Ce dernier est mis à jour à partir des relevés obtenus par LIDAR aéroporté ou par corrélation d'images aériennes. La figure 21 présente une vue 2D de la topographie du domaine d'étude indiquant un relief peu marqué ne laissant pas envisager d'effets significatifs sur la dispersion des polluants dans la bande d'étude.

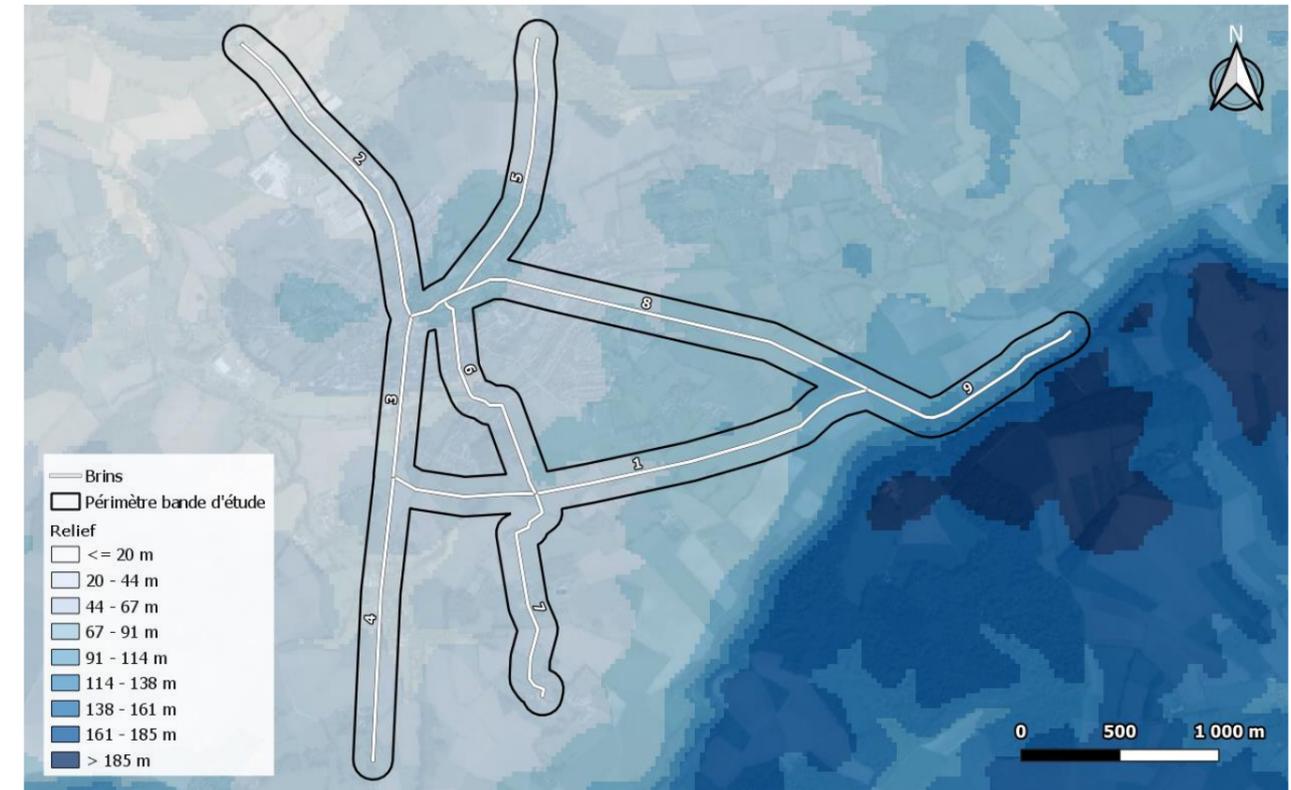


Figure 21 : représentation du relief en vue 2D

5.1.5) Pollution de fond

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

Polluant	Source
NO ₂	Moyenne des concentrations mesurées au niveau des points de fond lors de la campagne réalisée par Rincant Air en mai 2023, rationalisée par rapport à la moyenne annuelle (ratio campagne / moyenne 2022 de la station Atmo Hauts-de-France la plus proche).
Benzène PM ₁₀ et PM _{2.5}	Moyennes annuelles de la dernière année disponible (2022) issue de la station Atmo Hauts-de-France la plus proche présentant ce type de données (Boulogne Diderot, Outreau).
2 ETM B[a]P	Arsenic et Nickel : moyennes annuelles de la dernière année disponible (2022) au niveau de la station Atmo Hauts-de-France « Marc-en-Baroeul ». B[a]P : moyenne annuelle de la dernière année disponible (2021) au niveau des deux stations Atmo Hauts-de-France « St-Laurent-Blangy » et « Malo-les-Bains ».
Autres ETM Autres HAP 1,3 butadiène	Médiane des concentrations de fond en France d'après la base de données Ineris ¹⁰ NB : la valeur pour le chrome VI est estimée à partir des concentrations de fond en chrome total d'après le ratio maximal déterminé par les études bibliographiques disponibles ¹¹

Tableau 21 : sources utilisées pour le bruit de fond

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

¹¹ Tirez et al. (2011) : ratios CrVI/Cr de 2,6 à 3,5 % mesuré à proximité et à distance de sources anthropogéniques en région flamande, Belgique.

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

Polluant	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Polluant	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Polluant	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	10,0	Anthracène	0,0003	Dibenzo(a,h)anthracène	0,00004
Particules PM ₁₀	18,3	Benzo(a)anthracène	0,0002	Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,0003
Particules PM _{2,5}	10,1	Benzo(a)pyrène	0,00014	Acénaphène	0,0003
Benzène	0,4	Benzo(b)fluoranthène	0,0004	Acénaphthylène	0,0003
1,3-butadiène	0,2	Benzo(k)fluoranthène	0,0002	Fluorène	0,0015
Arsenic	0,00039	Benzo(j)fluoranthène	0,0004	Fluoranthène	0,0018
Chrome VI	0,0000525	Benzo(ghi)pérylène	0,0004	Phénanthrène	0,0051
Nickel	0,00083	Chrysène	0,0004	Pyrène	0,0013

Tableau 22 : concentrations de fond utilisées

V.2 Résultats de la modélisation

5.2.1) Cartographies des concentrations

Les résultats sont présentés pour le NO₂, polluant le plus représentatif de la pollution liée au trafic routier :

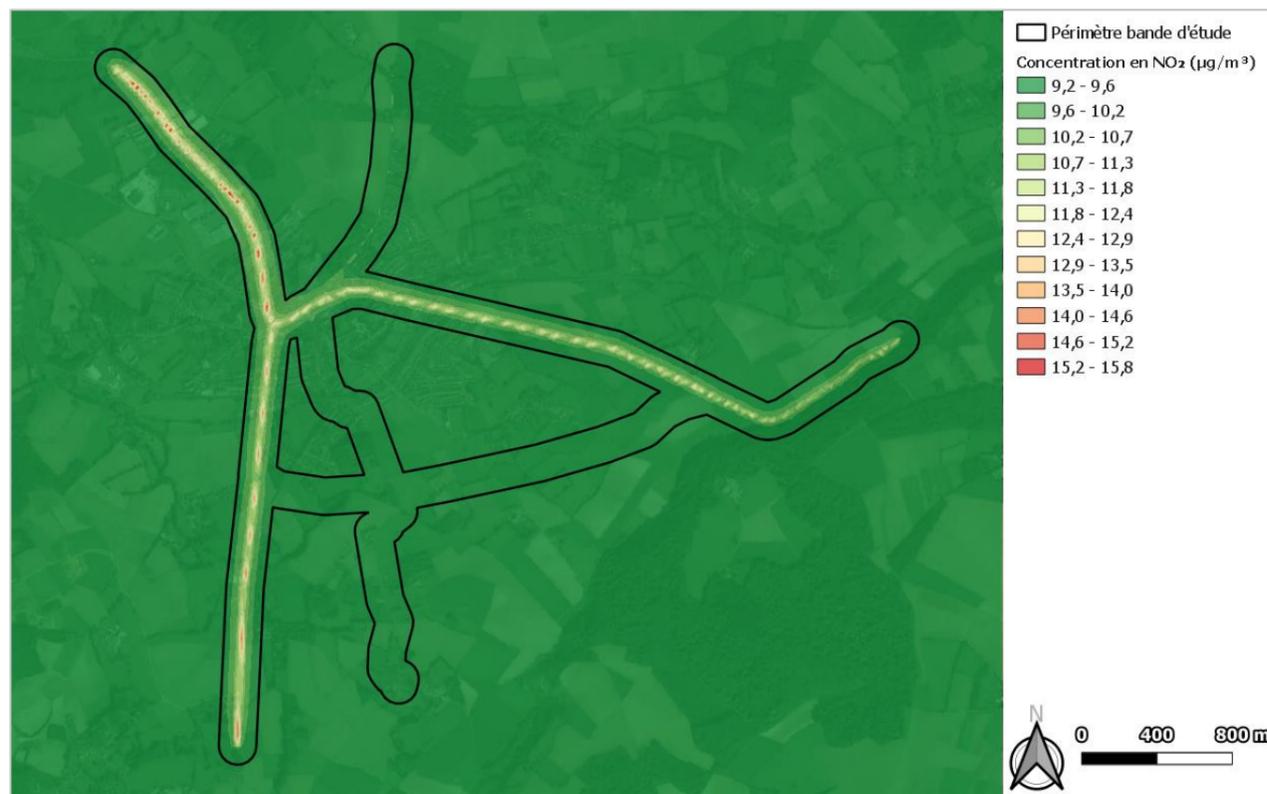


Figure 22 : concentration moyenne journalière en NO₂ – scénario actuel

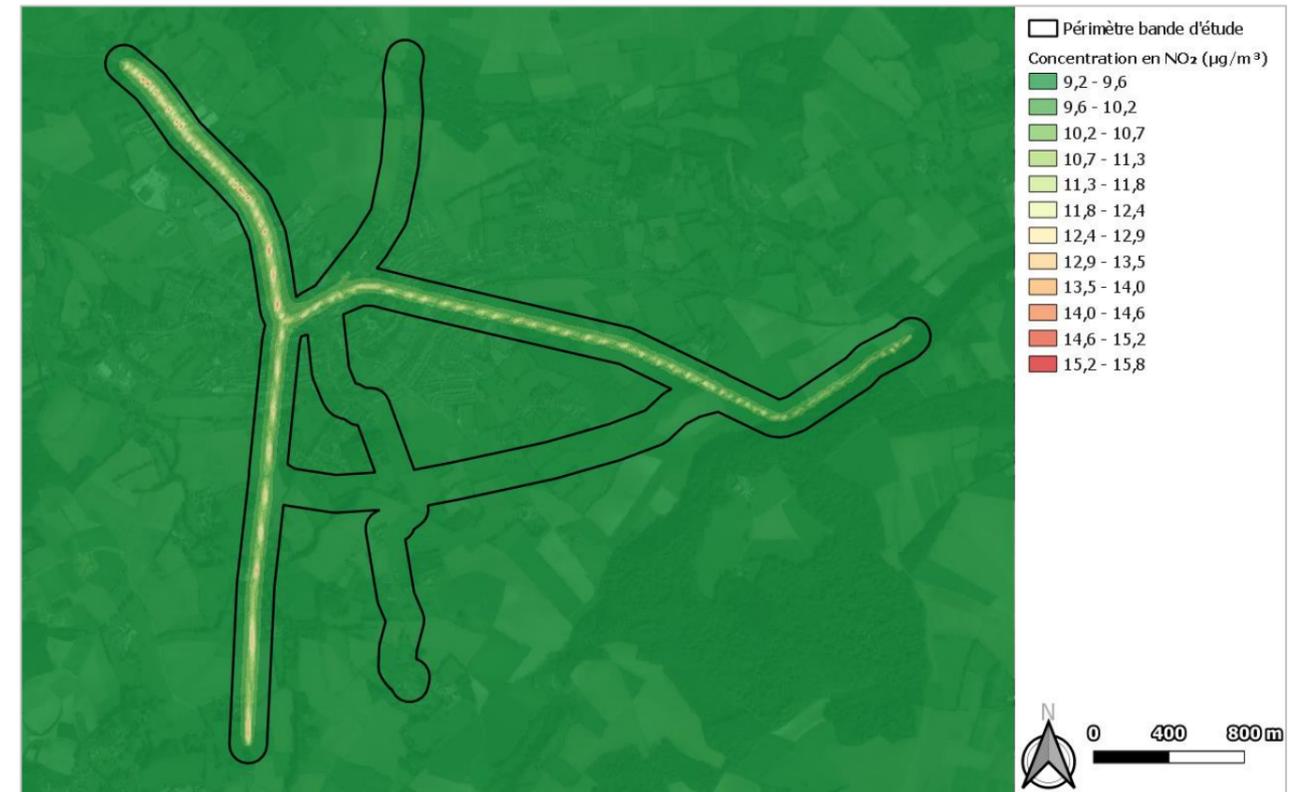


Figure 23 : concentration moyenne journalière en NO₂ – scénario futur sans projet

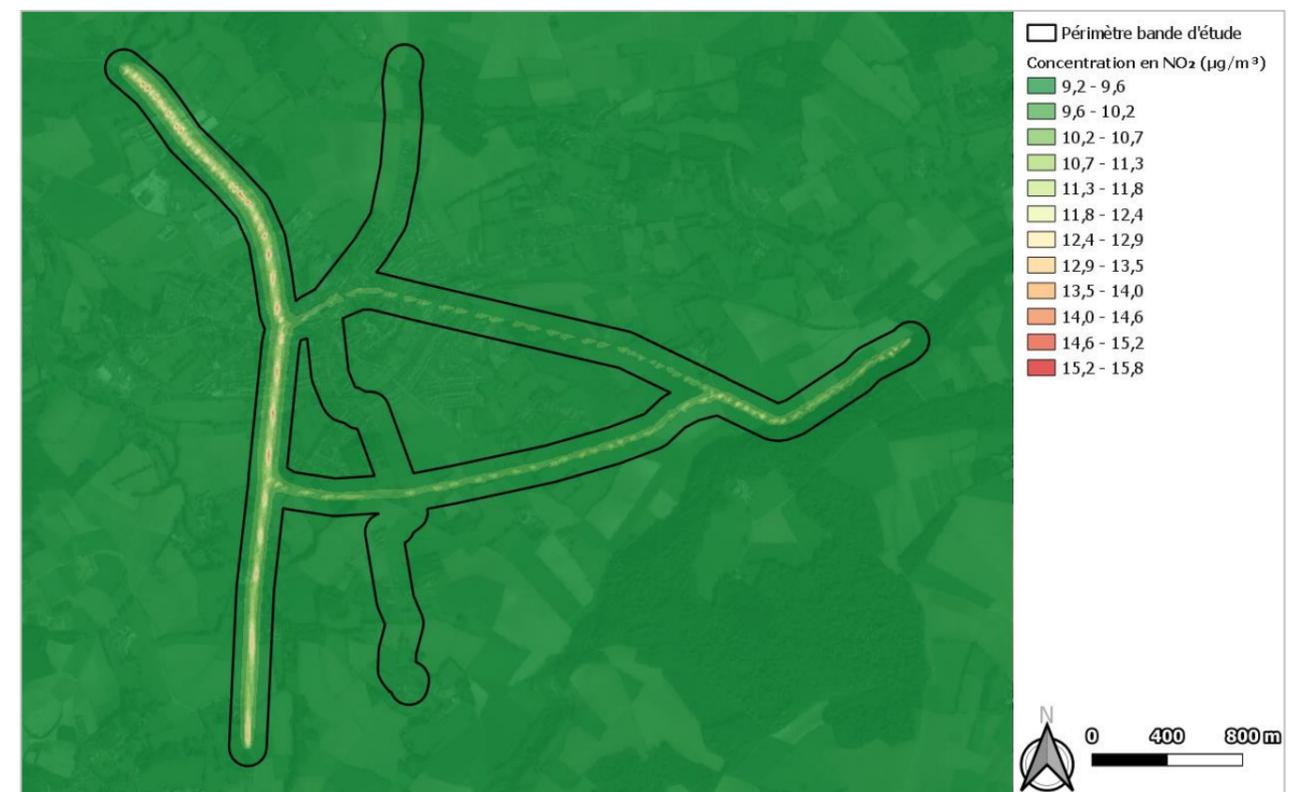
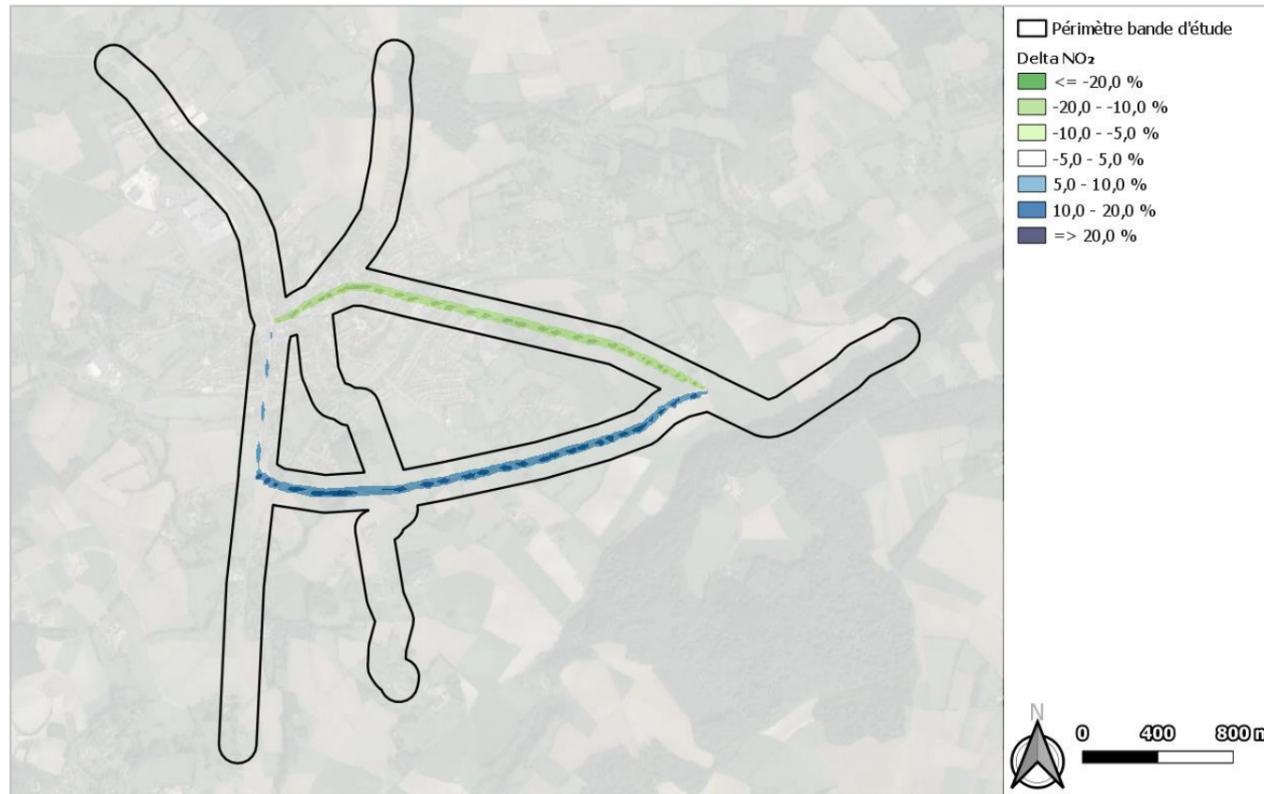


Figure 24 : concentration future moyenne journalière en NO₂ – futur avec projet


 Figure 25 : variation des concentrations en NO₂ entre le scénario futur sans projet et avec projet

A l'horizon 2027, les augmentations de concentrations les plus importantes entre les scénarios avec et sans projet (entre +5 et +20 %) sont observées au niveau de la déviation nouvellement créée et dans une moindre mesure au niveau de la section RD901 entre la déviation et l'entrée de Samer. A l'inverse, les diminutions de concentrations les plus importantes (entre -5 % et -20 %) sont enregistrées au niveau de la RD52 entre la déviation et l'entrée de Samer.

5.2.2) Indice IPP

Pour évaluer l'impact d'un projet sur les populations, le Cerema a développé une méthode qui consiste à croiser les concentrations modélisées et le nombre d'habitants sur la bande d'étude. Le produit « population x concentration » fournit ainsi un indicateur appelé IPP (indice pollution population) qui représente de manière synthétique l'exposition potentielle des personnes à la pollution atmosphérique. Cet indice est calculé pour le NO₂, conformément à la note technique du 22 février 2019, selon la formule suivante :

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

Où : IPP_i est l'IPP à l'échelle d'une maille i ou d'un bâtiment i
 C_i est la concentration en NO₂ pour la maille élémentaire i ou pour le bâtiment i
 P_i est la population présente sur la maille élémentaire i ou dans le bâtiment i

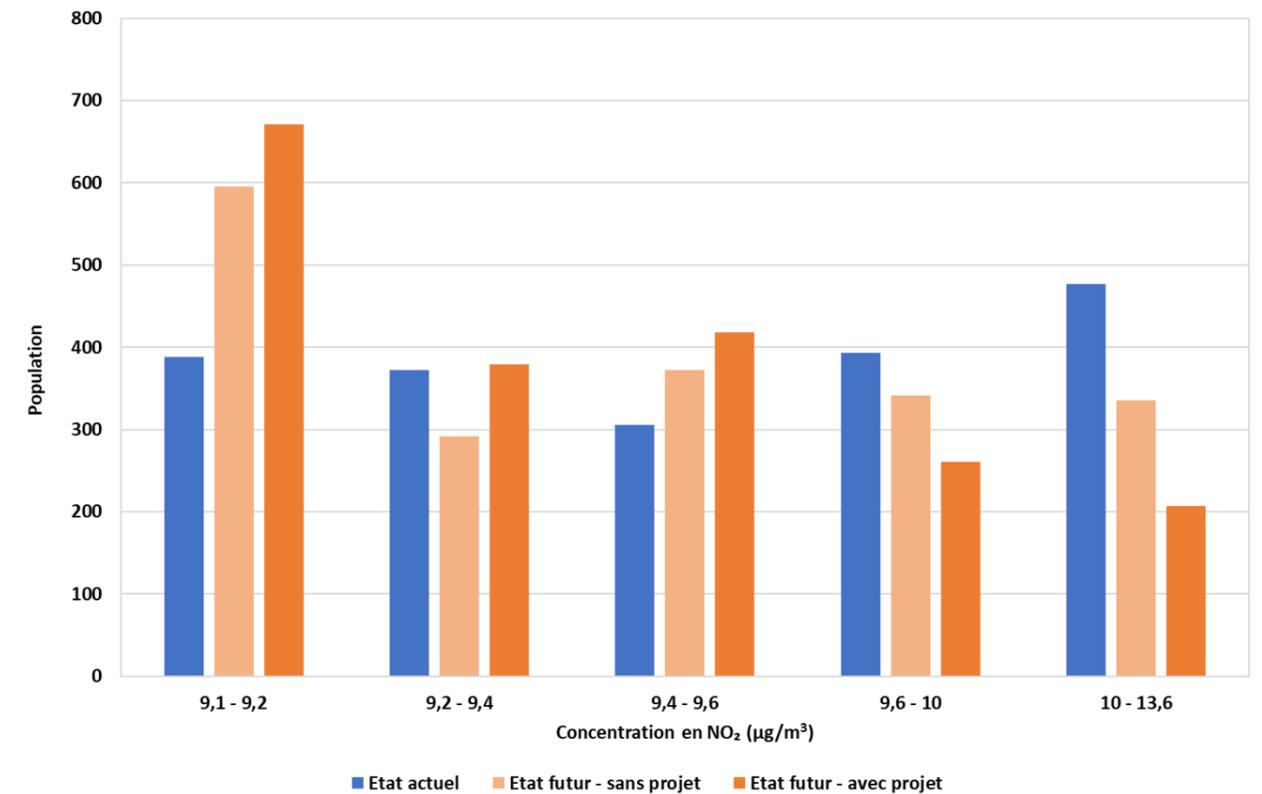
L'INSEE met à disposition les données de population issues du dernier recensement (2015) à l'échelle de carreaux de 200 m de côté. Cette population est attribuée de façon homogène à chaque bâtiment présent dans la maille d'après la BD TOPO® IGN (2020). La population pour les scénarios actuel, futur sans projet et futur avec projet est considérée comme identique. Le tableau suivant présente les valeurs de l'indice pollution/population moyen, qui correspond à la moyenne des IPP sur l'ensemble du domaine d'étude :

	Scénario 2023 Actuel	Scénario 2027 Sans projet	Scénario 2027 Avec projet	Delta 2027 avec/sans projet
IPP NO ₂	18 869	18 581	18 391	-1,0 %

Tableau 23 : IPP selon les scénarios considérés

A l'horizon 2027, le projet de déviation sud de Samer entraîne une **diminution de l'IPP dans la bande d'étude d'environ -1 %**. L'augmentation des concentrations entre les scénarios futurs avec projet et fil de l'eau au niveau de la déviation n'impacte pas directement les zones d'habitations (aucune résidence n'est présente dans la bande d'étude autour de ce nouvel axe) tandis que les diminutions de concentrations aux abords de la RD52 impactent un nombre significatif de résidences.

Pour illustrer la variation de l'IPP global, la figure suivante illustre le nombre d'habitants exposés par classe de concentration de NO₂ selon les scénarios considérés. Les classes de concentrations présentées correspondent aux centiles de 0 % (concentration minimale sur la zone d'étude) à 100 % (concentration maximale sur la zone d'étude) tous les 20 %.


 Figure 26 : histogrammes de distribution concentration/population pour le NO₂

Par rapport à la situation actuelle (2023), **le scénario futur avec projet est associé à une diminution du nombre de personnes exposées aux concentrations les plus fortes** (comprises entre 9,6 et 13,6 µg/m³) et une augmentation du nombre d'habitants exposés à la classe de concentration la plus faible (9,1 – 9,2 µg/m³). Une légère augmentation est observée sur les autres classes (comprises entre 9,2 et 9,6 µg/m³). A l'horizon 2027, les mêmes tendances sont observées entre le scénario avec projet et le fil de l'eau. **Ces populations restent exposées à des concentrations en NO₂ largement inférieures à la valeur réglementaire (40 µg/m³ en moyenne annuelle).**

VI. EFFETS DU PROJET : EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

6.1 Méthodologie

6.1.1) Sites étudiés

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

- 1) Collège Le Trion
- 2) Ecole élémentaire Lucien Coustès
- 3) Ecole maternelle Jean Moulin
- 4) Ecole primaire privée Saint Wulmer
- 5) Maison Familiale Rurale de Samer (collège/lycée)

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

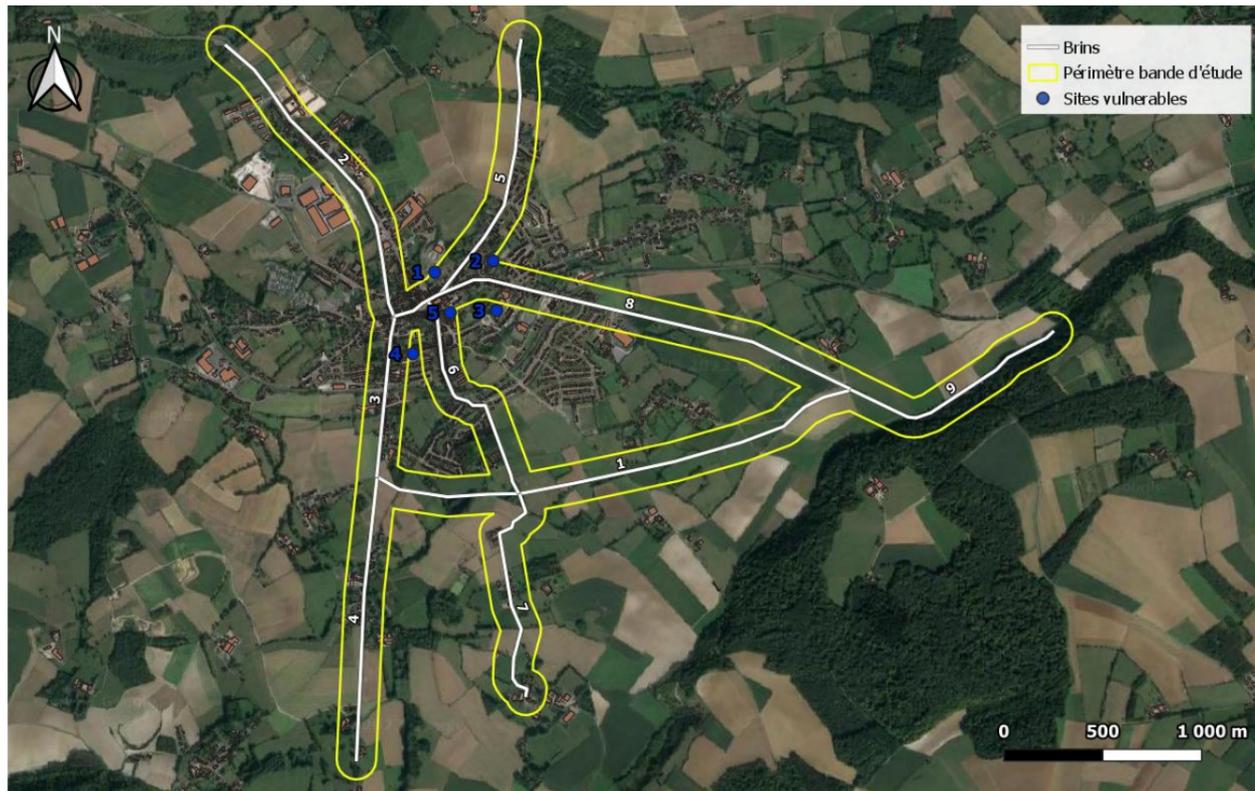


Figure 27 : localisation des sites vulnérables dans la bande d'étude

6.1.2) Etapes de l'évaluation des risques sanitaires

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

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

Les incertitudes associées à chaque étape sont présentées en annexe 4.

6.1.3) Identification des dangers

L'identification des dangers repose sur le recensement des effets sur la santé des polluants émis par le trafic routier définis par la note technique du 22 février 2019 :

- Les oxydes d'azote (NO_x), en particulier le NO₂
- Les particules émises à l'échappement (PM₁₀, PM_{2,5})
- Le benzène
- Le 1,3 butadiène
- Le chrome VI
- Le nickel
- L'arsenic
- Les 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont le benzo(a)pyrène

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

Substance	N°CAS	Voie(s) d'exposition	Effets (cancérigène)		
			CIRC	UE	US-EPA
NO ₂	10102-44-0	Inhalation	-	-	-
PM ₁₀	-	Inhalation	1	-	-
PM _{2,5}	-	Inhalation	1	-	-
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	-	-
Acénaphène	83-32-9	Ingestion	3	-	-
Acénaphylène	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

6.1.4) Relation 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 (quotient de danger : QD).
- 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 : ERI).
- 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 l'exposition par inhalation et par ingestion en fonction de l'effet étudié : chronique (exposition continue) ou aigu (exposition ponctuelle maximale).

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

Tableau 25 : recensement des valeurs disponibles

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

6.1.5) Estimation de l'exposition par inhalation

Pour évaluer **les risques chroniques**, l'exposition est estimée à partir de la concentration moyenne inhalée (CI) selon la formule suivante :

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

Avec :

- o C_i , la concentration de polluant dans l'air inhalé correspondant à la concentration modélisée au droit de chaque site vulnérable ;
- o t_i , la fraction du temps d'exposition pendant une journée (sans dimension) dépendant du scénario d'exposition ;
- o F , la fréquence d'exposition à la concentration C_i en nombre de jours par an (sans dimension) dépendant du scénario d'exposition ;
- o T , la durée d'exposition à la concentration C_i (année) dépendant du type d'effet ;
- o 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 :

- o Pour des substances avec effets à seuil, l'exposition moyenne est calculée sur la durée effective d'exposition, par conséquent $T/T_m=1$
- o Pour les effets sans seuil, la période d'exposition dépend du point étudié (T) par rapport à la vie entière (T_m), prise par convention égale à 70 ans.

Conformément à la note technique du 22 février 2019, un scénario pire cas (majorant) est étudié en considérant une exposition continue. Les résultats des concentrations moyennes annuelles modélisées (C_i) ainsi que du scénario majorant sont présentés en annexe 3.

Pour l'étude des scénarios réalistes, les périodes d'exposition suivantes sont considérées :

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			3 ¹²	
Etablissement pour personnes âgées	1 (24h/jour)	1	70	
Etablissement de santé		0,0153 (séjour moyen de 5,6 par an) ¹³		
Logement	0,67 (16h/jour) ¹⁴	1	16,7 ¹⁵	

Tableau 26 : paramètres d'exposition

Pour évaluer **les risques aigus**, les concentrations sont modélisées pour une exposition ponctuelle maximale sans considérer de scénario d'exposition :

- o Sur 1 heure pour les substances réglementées en moyenne horaire
- o Sur 24 heures pour les substances réglementées en moyenne journalière

¹² DREES (2018). Etudes et résultats – L'EHPAD, dernier lieu de vie pour un quart des personnes décédées en France en 2015.

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

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

¹⁵ INSEE – Les conditions de logement en France – Édition 2017.

6.2 Caractérisation des risques

6.2.1) Substances avec VTR à effets de seuil

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

Substance	Valeur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Organe cible	Source (date)
1,3-butadiène	2,00E+00	Reproducteur	ANSES (2020)
Benzène	1,00E+01	Immunitaire	ANSES (2008)
Chrome VI	3,00E-02	Respiratoire	OMS (2013)
Nickel	9,00E-02	Respiratoire	ATSDR (2005)
Arsenic	1,50E-02	Cerveau	OEHHA (2008)
Benzo(a)pyrène	2,00E-03	Fœtus	US-EPA (2017)

Tableau 27 : VTR à effets de seuil pour l'exposition par inhalation

Les tableaux suivants présentent les concentrations annuelles pour les substances à effet de seuil tenant compte des scénarios d'exposition réaliste selon la formule $CI_{As\text{ réel}} = Ci \times fi \times F$.

Site vulnérable	Ecole Jean Moulin		Maison Rurale		Collège Le Trion	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Benzène	9,24E-02	9,24E-02	9,24E-02	9,24E-02	9,24E-02	9,23E-02
1,3 butadiène	4,62E-02	4,62E-02	4,62E-02	4,62E-02	4,62E-02	4,62E-02
Chrome VI	1,11E-04	7,30E-05	1,02E-04	5,42E-05	6,35E-05	4,36E-05
Nickel	1,92E-04	1,92E-04	1,92E-04	1,92E-04	1,92E-04	1,92E-04
Arsenic	9,00E-05	9,00E-05	9,00E-05	9,00E-05	9,00E-05	9,00E-05
B(a)P	3,26E-05	3,25E-05	3,26E-05	3,24E-05	3,24E-05	3,24E-05

Site vulnérable	Ecole Lucien		Ecole Wulmer	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Benzène	9,24E-02	9,24E-02	9,24E-02	9,24E-02
1,3 butadiène	4,62E-02	4,62E-02	4,62E-02	4,62E-02
Chrome VI	9,49E-05	1,04E-04	8,79E-05	6,29E-05
Nickel	1,92E-04	1,92E-04	1,92E-04	1,92E-04
Arsenic	9,00E-05	9,00E-05	9,00E-05	9,00E-05
B(a)P	3,25E-05	3,25E-05	3,25E-05	3,25E-05

Tableau 28 : concentrations inhalées réalistes pour l'exposition à seuil

Pour les substances avec effets à seuil, un quotient de danger (QD) est calculé d'après le ratio entre le niveau d'exposition et la valeur toxicologique de référence soit $QD = CI_{As} / VTR$.

La valeur du quotient de danger est comparée pour chaque organe cible à la valeur seuil de 1.

Pour réaliser cette comparaison, les substances sont regroupées selon les effets qu'elles provoquent sur les organes cibles :

Site vulnérable		Ecole Jean Moulin		Maison Rurale		Collège Le Trion	
Organe cible	Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Immunitaire	Benzène	9,24E-03	9,24E-03	9,24E-03	9,24E-03	9,24E-03	9,23E-03
Reproducteur	1,3-butadiène	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02
Cerveau	Arsenic	6,00E-03	6,00E-03	6,00E-03	6,00E-03	6,00E-03	6,00E-03
Fœtus	B(a)P	1,63E-02	1,62E-02	1,63E-02	1,62E-02	1,62E-02	1,62E-02
Respiratoire	Chrome VI	3,69E-03	2,43E-03	3,41E-03	1,81E-03	2,12E-03	1,45E-03
	Nickel	2,13E-03	2,13E-03	2,13E-03	2,13E-03	2,13E-03	2,13E-03
	Total	5,83E-03	4,57E-03	5,55E-03	3,94E-03	4,25E-03	3,59E-03
Delta projet		-2,15%		-2,76%		-1,17%	

Site vulnérable		Ecole Lucien		Ecole Wulmer	
Organe cible	Scénario	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Immunitaire	Benzène	9,24E-03	9,24E-03	9,24E-03	9,24E-03
Reproducteur	1,3-butadiène	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02
Cerveau	Arsenic	6,00E-03	6,00E-03	6,00E-03	6,00E-03
Fœtus	B(a)P	1,63E-02	1,63E-02	1,63E-02	1,62E-02
Respiratoire	Chrome VI	3,16E-03	3,46E-03	2,93E-03	2,10E-03
	Nickel	2,13E-03	2,13E-03	2,13E-03	2,13E-03
	Total	5,30E-03	5,59E-03	5,07E-03	4,23E-03
Delta projet		0,52%		-1,45%	

Tableau 29 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste

Le projet entraîne une variation de la somme des QD allant de -2,8 % à +0,5 % selon les sites considérés. Les diminutions sont observées au droit des sites vulnérables situés aux abords de la RD52 qui présente une baisse du trafic en 2027 par rapport au fil de l'eau. A l'inverse, l'école Lucien (site n°4) situés aux abords de la RD901, dont le trafic augmente, présente une légère augmentation des QD.

Aucun quotient de danger ne dépasse la valeur de 1, indiquant **l'absence de risque sanitaire lié aux substances à effets de seuil** sur tous les sites vulnérables exposés.

6.2.2) Substances avec VTR sans effet de seuil

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

Substance	Valeur ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Source
Particules PM ₁₀	2,32E-02	ANSES (2023)
Particules PM _{2,5}	1,28E-02	ANSES (2023)
Benzène	2,60E-05	ANSES (2014)
1,3 butadiène	3,00E-05	US EPA (2002)
Chrome VI	4,00E-02	IPCS (2013)
Nickel	1,70E-04	TCEQ (2011)
Arsenic	1,50E-04	TCEQ (2012)
Acénaphène	6,00E-07	INERIS (2018)
Acénaphylène	6,00E-07	INERIS (2018)
Anthracène	6,00E-06	INERIS (2018)
Benzo(a)pyrène	6,00E-04	US-EPA (2017)
Benzo(a)anthracène	6,00E-05	INERIS (2018)
Benzo(b)fluoranthène	6,00E-05	INERIS (2018)
Benzo(k)fluoranthène	6,00E-05	INERIS (2018)
Benzo(ghi)pérylène	6,00E-06	INERIS (2018)
Chrysène	6,00E-06	INERIS (2018)
Dibenzo(a,h)anthracène	6,00E-04	INERIS (2018)
Fluorène	6,00E-07	INERIS (2018)
Fluoranthène	6,00E-07	INERIS (2018)
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	6,00E-05	INERIS (2018)
Phénanthrène	6,00E-07	INERIS (2018)
Pyrène	6,00E-07	INERIS (2018)
Benzo(j)fluoranthène	1,10E-04	OEHHA (1999)

Tableau 30 : VTR sans effet de seuil pour l'exposition par inhalation

Les tableaux suivants présentent les concentrations annuelles pour les substances à effet sans seuil tenant compte des scénarios d'exposition réaliste selon la formule $C_{I_{ss}} \text{ réal} = C_i \times f_i \times F \times T/70$.

Site vulnérable	Ecole Jean Moulin		Maison Rurale		Collège Le Trion		Ecole Lucien		Ecole Wulmer	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
PM ₁₀	4,83E-01	4,83E-01	6,04E-01	6,04E-01	4,83E-01	4,83E-01	3,62E-01	3,62E-01	4,83E-01	4,83E-01
PM _{2,5}	2,67E-01	2,67E-01	3,33E-01	3,33E-01	2,67E-01	2,67E-01	2,00E-01	2,00E-01	2,67E-01	2,67E-01
Benzène	5,28E-03	5,28E-03	6,60E-03	6,60E-03	5,28E-03	5,28E-03	3,96E-03	3,96E-03	5,28E-03	5,28E-03
1,3 butadiène	2,64E-03	2,64E-03	3,30E-03	3,30E-03	2,64E-03	2,64E-03	1,98E-03	1,98E-03	2,64E-03	2,64E-03
Chrome VI	6,33E-06	4,17E-06	7,31E-06	3,87E-06	3,63E-06	2,49E-06	4,07E-06	4,44E-06	5,02E-06	3,59E-06
Nickel	1,10E-05	1,10E-05	1,37E-05	1,37E-05	1,10E-05	1,10E-05	8,23E-06	8,23E-06	1,10E-05	1,10E-05
Arsenic	5,14E-06	5,14E-06	6,43E-06	6,43E-06	5,14E-06	5,14E-06	3,86E-06	3,86E-06	5,14E-06	5,14E-06
Acénaphène	4,14E-06	4,09E-06	5,16E-06	5,07E-06	4,05E-06	4,02E-06	3,07E-06	3,09E-06	4,09E-06	4,06E-06
Acénaphylène	4,10E-06	4,06E-06	5,10E-06	5,04E-06	4,03E-06	4,01E-06	3,04E-06	3,06E-06	4,06E-06	4,03E-06
Anthracène	4,01E-06	4,00E-06	5,01E-06	4,98E-06	3,98E-06	3,98E-06	3,00E-06	3,00E-06	4,00E-06	3,99E-06
Benzo(a)anthracène	2,66E-06	2,66E-06	3,33E-06	3,31E-06	2,65E-06	2,65E-06	1,99E-06	2,00E-06	2,66E-06	2,65E-06
Benzo(b)fluoranthène	1,86E-06	1,86E-06	2,33E-06	2,32E-06	1,85E-06	1,85E-06	1,39E-06	1,39E-06	1,86E-06	1,85E-06
Benzo(k)fluoranthène	5,30E-06	5,29E-06	6,62E-06	6,61E-06	5,29E-06	5,28E-06	3,97E-06	3,97E-06	5,29E-06	5,29E-06
Benzo(ghi)pérylène	2,66E-06	2,65E-06	3,32E-06	3,31E-06	2,65E-06	2,65E-06	1,99E-06	1,99E-06	2,65E-06	2,65E-06
Benzo(a)pyrène	5,31E-06	5,30E-06	6,63E-06	6,62E-06	5,29E-06	5,29E-06	3,98E-06	3,98E-06	5,30E-06	5,29E-06
Chrysène	5,34E-06	5,32E-06	6,66E-06	6,63E-06	5,30E-06	5,30E-06	3,99E-06	4,00E-06	5,32E-06	5,31E-06
Dibenzo(a,h)anthracène	5,31E-07	5,30E-07	6,63E-07	6,61E-07	5,29E-07	5,29E-07	3,97E-07	3,98E-07	5,30E-07	5,29E-07
Fluorène	1,98E-05	1,98E-05	2,48E-05	2,48E-05	1,98E-05	1,98E-05	1,49E-05	1,49E-05	1,98E-05	1,98E-05
Fluoranthène	2,40E-05	2,39E-05	3,00E-05	2,99E-05	2,39E-05	2,38E-05	1,80E-05	1,80E-05	2,39E-05	2,39E-05
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	3,97E-06	3,97E-06	4,97E-06	4,96E-06	3,96E-06	3,96E-06	2,98E-06	2,98E-06	3,97E-06	3,97E-06
Benzo(j)fluoranthène	2,02E-05	1,62E-05	2,35E-05	1,71E-05	1,33E-05	1,14E-05	1,24E-05	1,35E-05	1,65E-05	1,40E-05
Phénanthrène	6,78E-05	6,77E-05	8,47E-05	8,44E-05	6,75E-05	6,75E-05	5,08E-05	5,08E-05	6,77E-05	6,76E-05
Pyrène	1,74E-05	1,73E-05	2,17E-05	2,16E-05	1,73E-05	1,72E-05	1,30E-05	1,30E-05	1,73E-05	1,73E-05

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

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

Site vulnérable	Ecole Jean Moulin		Maison Rurale		Collège Le Trion		Ecole Lucien		Ecole Wulmer	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
PM ₁₀	1,12E-02	1,12E-02	1,40E-02	1,40E-02	1,12E-02	1,12E-02	8,40E-03	8,41E-03	1,12E-02	1,12E-02
PM _{2,5}	3,42E-03	3,41E-03	4,27E-03	4,27E-03	3,41E-03	3,41E-03	2,56E-03	2,56E-03	3,41E-03	3,41E-03
Benzène	1,37E-07	1,37E-07	1,72E-07	1,72E-07	1,37E-07	1,37E-07	1,03E-07	1,03E-07	1,37E-07	1,37E-07
1,3 butadiène	7,91E-08	7,91E-08	9,89E-08	9,89E-08	7,91E-08	7,91E-08	5,93E-08	5,93E-08	7,91E-08	7,91E-08
Chrome VI	2,53E-07	1,67E-07	2,92E-07	1,55E-07	1,45E-07	9,96E-08	1,63E-07	1,78E-07	2,01E-07	1,44E-07
Nickel	1,87E-09	1,87E-09	2,33E-09	2,33E-09	1,87E-09	1,87E-09	1,40E-09	1,40E-09	1,87E-09	1,87E-09
Arsenic	7,71E-10	7,71E-10	9,64E-10	9,64E-10	7,71E-10	7,71E-10	5,79E-10	5,79E-10	7,71E-10	7,71E-10
Acénaphène	2,49E-12	2,45E-12	3,09E-12	3,04E-12	2,43E-12	2,41E-12	1,84E-12	1,85E-12	2,46E-12	2,44E-12
Acénaphylène	2,46E-12	2,43E-12	3,06E-12	3,02E-12	2,42E-12	2,40E-12	1,83E-12	1,83E-12	2,44E-12	2,42E-12
Anthracène	2,41E-11	2,40E-11	3,01E-11	2,99E-11	2,39E-11	2,39E-11	1,80E-11	1,80E-11	2,40E-11	2,39E-11
B(a)anthracène	1,60E-10	1,59E-10	2,00E-10	1,99E-10	1,59E-10	1,59E-10	1,20E-10	1,20E-10	1,59E-10	1,59E-10
B(b)fluoranthène	3,18E-10	3,18E-10	3,97E-10	3,97E-10	3,17E-10	3,17E-10	2,38E-10	2,38E-10	3,18E-10	3,17E-10
B(k)fluoranthène	1,60E-10	1,59E-10	1,99E-10	1,99E-10	1,59E-10	1,59E-10	1,19E-10	1,20E-10	1,59E-10	1,59E-10
B(ghi)pérylène	3,19E-11	3,18E-11	3,98E-11	3,97E-11	3,17E-11	3,17E-11	2,39E-11	2,39E-11	3,18E-11	3,18E-11
B(a)pyrène	1,12E-09	1,11E-09	1,40E-09	1,39E-09	1,11E-09	1,11E-09	8,36E-10	8,37E-10	1,11E-09	1,11E-09
Chrysène	3,20E-11	3,19E-11	4,00E-11	3,98E-11	3,18E-11	3,18E-11	2,39E-11	2,40E-11	3,19E-11	3,19E-11
Db(a,h)anthracène	3,18E-10	3,18E-10	3,98E-10	3,97E-10	3,17E-10	3,17E-10	2,38E-10	2,39E-10	3,18E-10	3,17E-10
Fluorène	1,19E-11	1,19E-11	1,49E-11	1,49E-11	1,19E-11	1,19E-11	8,92E-12	8,93E-12	1,19E-11	1,19E-11
Fluoranthène	1,44E-11	1,44E-11	1,80E-11	1,79E-11	1,43E-11	1,43E-11	1,08E-11	1,08E-11	1,44E-11	1,43E-11
I(1,2,3-cd)pyrène	4,77E-09	4,76E-09	5,96E-09	5,95E-09	4,76E-09	4,75E-09	3,57E-09	3,57E-09	4,76E-09	4,76E-09
B(j)fluoranthène	2,22E-09	1,79E-09	2,58E-09	1,88E-09	1,46E-09	1,25E-09	1,37E-09	1,49E-09	1,81E-09	1,54E-09
Phénanthrène	4,07E-11	4,06E-11	5,08E-11	5,07E-11	4,05E-11	4,05E-11	3,05E-11	3,05E-11	4,06E-11	4,05E-11
Pyrène	1,04E-11	1,04E-11	1,30E-11	1,29E-11	1,04E-11	1,03E-11	7,79E-12	7,80E-12	1,04E-11	1,04E-11
Total	1,46E-02	1,46E-02	1,83E-02	1,83E-02	1,46E-02	1,46E-02	1,10E-02	1,10E-02	1,46E-02	1,46E-02
Delta projet	-0,05%	-0,05%	-0,06%	-0,06%	-0,02%	-0,02%	0,02%	0,02%	-0,03%	-0,03%

Tableau 32 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario réaliste

Le projet entraîne une variation non significative des ERI allant de -0,06 à +0,02 % selon les sites considérés. Néanmoins, tous les ERI dépassent la valeur seuil de 1.10^{-5} , indiquant **un risque sanitaire potentiel pour les substances à effet sans seuil** sur tous les sites vulnérables exposés. Ce dépassement s'explique par la VTR associée aux particules PM₁₀ et PM_{2,5} qui impliquerait une concentration en PM_{2,5} dans l'air ambiant de 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour respecter un ERI de 1.10^{-5} , alors qu'actuellement les concentrations moyennes sur le territoire français sont de 9,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (et la minimale de 3,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'île de la Réunion).

6.2.3) Substances sans VTR

Ces substances sont évaluées par 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). Les valeurs recensées sont présentées dans le tableau suivant :

	Substance	Valeur Chronique	Valeur Aigue	Source
Valeur guide (µg/m³)	NO ₂	10 (1 an)	200 (1 h) / 25 (24 h)	OMS (2021)

Tableau 33 : valeurs guides (expositions chronique et aigue)

Pour évaluer **le risque chronique**, les concentrations considérées sont les moyennes annuelles modélisées avec une hypothèse d'exposition continue (**CI_{As/ss} majo = Ci**).

Pour **le risque aigu**, les concentrations considérées sont les maximales en moyenne horaire et journalière selon la formule **CI_{As} aigu = Cmax**.

Le tableau ci-dessous présente les concentrations utilisées :

Risque	Durée	Polluant	Site vulnérable		Ecole Moulin		Maison Samer		Collège Trion		Ecole Lucien		Ecole Wulmer		Valeur guide OMS 2021 (µg/m³)	Valeur limite de protection pour la santé (µg/m³)
			Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet		
Chr.	1 an	NO ₂	19,4	19,3	19,3	19,2	19,2	19,1	19,3	19,3	19,3	19,2	10	40		
	1 h	NO ₂	22,8	21,9	23,3	21,2	22,6	21,2	24,5	24,3	24,0	22,3	200	200		
Aigu	24 h	NO ₂	21,1	20,3	20,9	19,9	19,8	19,5	20,3	20,3	20,2	19,8	25	-		

Tableau 34 : comparaison des concentrations aux valeurs guides et réglementaires

Concernant le risque chronique, un **dépassement de la recommandation OMS** (10 µg/m³) est observé avec ou sans projet. Ces dépassements sont liés au bruit de fond considéré dans la zone d'étude (10,0 µg/m) qui est à lui seul égal à la valeur guide. En effet, un dépassement systématique de la valeur OMS peut être attendu sur tous les projets en zone urbanisée au regard des bruits de fond en France métropolitaine. En revanche, **aucun dépassement de la valeur réglementaire** (40 µg/m³) n'est observé.

Concernant le risque aigu, **aucun dépassement des valeurs OMS n'est constaté** (en moyenne horaire ou journalière). De même, **aucun dépassement des valeurs réglementaires n'est observé**.

VII. MESURES D'EVITEMENT DE REDUCTION OU DE COMPENSATION

VII.1 En phase programmation/conception de projet

La pollution atmosphérique émise par le trafic routier est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables. Plusieurs types d'actions ont été envisagées pour limiter la pollution à proximité d'une voie donnée : haies végétales, murs anti-bruit, revêtements photocatalytiques... Cependant le retour d'expérience sur leur mise en œuvre¹⁶ n'indique pas d'effets certains ou systématiques sur la qualité de l'air au niveau des populations exposées, c'est pourquoi ce type d'aménagement seul ne peut être recommandé comme moyen efficace de lutte contre la pollution atmosphérique. Afin de réduire globalement l'exposition des populations, différentes mesures de précaution et de prévention peuvent toutefois être préconisées :

Agir sur les émissions à la source :

- Dans le secteur des transports : les émissions polluantes peuvent être réduites par une modification des conditions de circulation (limiter les vitesses dans la zone du projet, favoriser les modes de circulation apaisée, modes actifs...). Des circuits de mobilité douce ou des aménagements valorisant les transports publics (implantation de stations de transports en commun, parking covoiturage, voies dédiées aux bus) pourront ainsi être intégrés dans la conception du projet afin que celui-ci s'inscrive pleinement en cohérence avec les différents plans de prévention de la pollution atmosphérique, notamment avec les cibles du PDU.
- Dans le secteur résidentiel : les émissions polluantes liées aux équipements de chauffage peuvent être réduites indirectement par une isolation thermique efficace des bâtiments. Des propositions de remplacement ou de rénovation des systèmes de chauffage anciens peu performants ou des unités de production peuvent également être intégrés dans le cas d'un projet de rénovation urbaine.

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

- Prévoir un éloignement des bâtiments accueillant des populations vulnérables par rapport aux axes routiers où le trafic est le plus important (mise en place d'une zone « tampon »). Cette zone tampon peut être constituée par des espaces végétalisés (obstacles horizontaux) favorisant la dispersion, ou des bâtiments moins sensibles (obstacles verticaux). La création d'un parc ou d'une zone de circulation douce est possible mais l'activité prolongée sur ces espaces ne doit pas être encouragée. Par ailleurs l'ADEME préconise l'implantation de variétés et de structures de végétation diversifiées afin de contribuer à la biodiversité locale et de limiter la sensibilité aux maladies et aux parasites¹⁷. Le choix d'essences d'arbres résistantes à la pollution et peu émettrices de COV est à privilégier. Il est ainsi conseillé d'éviter les espèces suivantes : chêne, robinier, platane, peuplier, saule, sapin Douglas, pin sylvestre, pin parasol.
- Intégrer une signalétique sur la zone du projet afin d'orienter les parcours actifs et sportifs vers les espaces les moins exposés à la pollution (ex : éviter les talus boisés à proximité d'un axe à fort trafic pour les parcours sportifs).
- Limiter l'impact de la pollution atmosphérique sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments : les prises d'air neuf doivent être positionnées sur les emplacements les plus éloignés des sources de pollution (en toiture ou sur les façades les moins exposées aux voies de circulation). Pour les ventilations double flux, le dimensionnement d'une filtration adaptée au niveau des centrales de traitement de l'air permet également de réduire l'introduction de polluants extérieurs. Lorsque ces conceptions ne sont pas réalisables pour un bâtiment à usage résidentiel, il est recommandé de limiter les ouvrants des pièces de vie principales (salon, chambre) au niveau des façades les plus exposées aux voies de circulation en les positionnant côté cœur d'îlot.

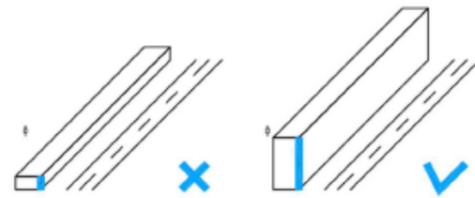
¹⁶ ADEME, B.Forestier, F.Cape. 2016. Impacts des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique – Etat de l'art des études traitant de l'impact des aménagements routiers (solutions anti-bruit, solutions spécifiques) sur la pollution atmosphérique.

¹⁷ ROUSSEAU Olivia, AIA Life Designers, PRADELLE Frédéric, Ramboll France, Vincent JACOB, AIA Life Designers, DEQUIEDT Frédérique, Plaine Commune, ECK Mélanie, Plaine Commune. 2022. Modéliser la qualité de l'air dans un secteur d'urbanisation contraint, Rincant Air

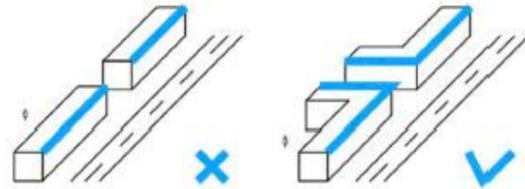
Recommandations d'aménagement pour minimiser les impacts de la pollution de l'air sur la population de Plaine Commune. Rapport. 84 pages.

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

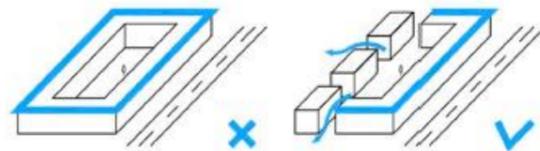
Pour créer une occlusivité par rapport aux sites vulnérables, privilégier la hauteur et la continuité du premier front bâti le long des axes routiers à fort trafic.



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



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



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

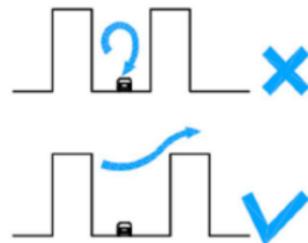


Figure 28 : recommandations générales d'aménagements favorisant la dispersion de polluants

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

VII.2 En phase chantier

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

- o L'échappement des machines et engins de chantier qui entraînent principalement des émissions de NO₂, CO, hydrocarbures et particules fines.
- o 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...
- o Les émissions liées à l'emploi de solvants ou de produits à base de solvants qui engendrent des émissions significatives de COV.
- o 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 :

- o Utiliser des véhicules récents équipés de filtres à particules (FAP). Les FAP permettent d'éliminer au moins 95 % en masse et 99,7 % en nombre des particules de plus de 23 nm (100 fois plus petites que le seuil des PM_{2,5}) émises par les moteurs diesel.
- o Entretien régulièrement les poids lourds, machines et engins qui circulent ou sont utilisés sur le chantier.
- o Utiliser des véhicules fonctionnant avec des carburants moins émissifs de particules (GNV, GPL...).
- o Former les opérateurs à l'adoption des bons comportements pour réduire les émissions de leurs engins (limitation des ralentis notamment).
- o Arroser les pistes par temps sec ou lors d'épisodes de pollution afin de limiter l'envol des poussières.
- o Bâcher et humidifier (rampe d'aspersion) systématiquement les camions.
- o Mettre en place de dispositifs d'humidification anti-poussières lors des phases génératrices de poussières.
- o Utiliser des produits plus écologiques contenant moins de solvants voire aucun.
- o 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...).
- o Privilégier l'emploi d'émulsions bitumineuses aux solutions bitumineuses.
- o Privilégier les enrobés tièdes et respecter scrupuleusement les consignes de température lors de la fabrication des enrobés.
- o Equiper les finisseurs de systèmes de captages des fumées de bitume (avec une efficacité d'au moins 80 % selon le protocole NIOSH 107-97).
- o Informer en amont et pendant le chantier les riverains des nuisances potentielles et des mesures mises en place pour les réduire.
- o Adaptation de la période des travaux sur l'année ou sur la période journalière (en fonction des pics de concentrations de certains polluants et/ou des sites recevant des populations vulnérables à proximité).

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

VIII. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE AIR ET SANTÉ

VIII.1 Etat initial

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

- Les axes routiers à fort trafic (RD901 et RD52) constituent des sources potentiellement importantes d'émissions polluantes, notamment pour le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules. En revanche l'urbanisation peu dense et l'absence de sites industriels localisés à proximité de la zone d'étude n'indiquent pas d'autres sources significatives d'émissions polluantes.
- 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 du dioxyde d'azote (NO₂).
- Le projet de déviation se situe dans une zone où la densité de population est relativement faible. Plus spécifiquement, 5 sites vulnérables vis-à-vis de la qualité de l'air (établissements scolaires) 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 et feront l'objet d'une étude des risques sanitaires dans une mise à jour de ce rapport.
- Le projet s'inscrit dans une zone couverte par différents plans de lutte et de prévention de la pollution atmosphérique contenant des actions spécifiques de protection et d'amélioration de la qualité de l'air (PREPA, PNSE4 à l'échelle nationale, PRSE3, SDRADDET à l'échelle régionale, PPA et PCAET intercommunal à l'échelle locale).

En complément de l'étude documentaire, une campagne de mesure *in situ* a été réalisée dans le cadre de l'état initial afin de caractériser les concentrations en dioxyde d'azote (NO₂), principal traceur des émissions du trafic routier, à l'échelle locale. Cette campagne de mesure, effectuée du 2 au 16 mai 2023, se caractérise par conditions météorologiques entraînant des concentrations en NO₂ plus faibles que la moyenne annuelle (environ -13 %). En ramenant ces conditions à une situation moyenne annuelle, les résultats n'indiquent aucun dépassement potentiel de la valeur limite pour le NO₂, aussi bien en bordure des principaux axes (RD901, RD52) 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 :

- A horizon 2027, une augmentation non significative des émissions est constatée sur l'ensemble des polluants entre le scénario futur sans projet et le scénario avec projet (+ 0,2 % en moyenne). Cependant entre le scénario actuel et le scénario futur avec projet, une baisse des émissions de plusieurs polluants (NO_x, CO, COV, benzène) peut être constatée. Cette baisse est liée à l'évolution du parc routier et la mise en circulation de véhicules moins polluants projetée entre 2023 et 2027.
- Le scénario futur avec projet entraîne logiquement l'augmentation d'émissions polluantes la plus importante sur l'axe créé pour la déviation. Les émissions de NO_x sur ce dernier sont cependant relativement faibles au regard du réseau d'étude considéré. Les émissions les plus importantes sont constatées sur la RD901 au niveau de laquelle la création du projet entraîne une augmentation de 26 % par rapport au scénario fil de l'eau. En revanche le projet permet une diminution significative des émissions au niveau de la RD52 du fait du report de trafic sur la déviation.
- Le scénario futur avec projet entraîne une augmentation respective des coûts collectifs liés à la pollution atmosphérique et à l'effet de serre de 13,8 % et 3,8 % par rapport au scénario futur sans projet.

La modélisation des concentrations en NO₂ dans l'air air ambiant met en évidence les points suivants :

- En lien avec les émissions de polluants, le projet entraîne une augmentation significative des concentrations (comprises entre +5 et +20 %) au niveau de la déviation d'une part et de la section RD901 entre Samer et la déviation d'autre part. Les diminutions significatives (comprises entre -5 et -20 %) de concentrations sont observées aux abords de la RD52, entre la déviation et l'entrée de Samer.
- La mise en œuvre du projet entraîne globalement une légère diminution de l'indice pollution-population (IPP) dans la bande d'étude d'environ 1 %.

L'évaluation des risques sanitaires (ERS) est réalisée à partir des concentrations modélisées au droit des cinq sites vulnérables situés dans la bande d'étude ou au plus proche. Elle permet d'établir les conclusions suivantes :

- Le projet entraîne une faible variation de la somme des quotients de danger (QD) au niveau des cinq sites considérés (comprises entre -2,8 % et +0,5 %) par rapport au fil de l'eau. Les diminutions sont observées aux abords de la RD52 et les augmentations à proximité de la RD901. Aucun QD ne dépasse la valeur seuil de 1, indiquant l'absence de risque sanitaire lié aux substances à effets de seuil.
- Une variation non significative de l'excès de risque individuel (ERI) est constatée entre les scénarios « futur avec projet » et « futur sans projet ». En revanche, la valeur seuil d'acceptabilité du risque sanitaire de 1.10⁻⁵ est dépassée pour tous les sites et pour tous les scénarios. Ces dépassements sont cependant inévitables du fait des dernières VTR établies par l'ANSES (2023) pour les particules, qui nécessiteraient des concentrations de fond inférieures à 1 µg/m³ pour conclure à l'absence de risque.
- La mise en service du projet entraîne des variations non significatives des concentrations en NO₂ estimées pour l'exposition chronique au droit de chaque site vulnérable. En prenant en compte les dernières recommandations de l'OMS (2021), les seuils de ce polluant sont dépassés au niveau de tous les établissements et pour tous les scénarios (avec projet et fil de l'eau). Comme pour les particules, ces dépassements restent inévitables du fait du bruit de fond actuel en zone urbanisée.
- Concernant le risque aigu, aucun dépassement des valeurs OMS n'est constaté (en moyenne horaire ou journalière) quel que soit le scénario et les sites vulnérables considérés. De même, aucun dépassement des valeurs réglementaires n'est observé.

IX. BILAN DE GES

IX.1 Introduction

L'augmentation de la concentration des gaz-à-effet de serre (GES) due aux activités humaines est une des principales causes du changement climatique observé durant les deux derniers siècles. Selon le GIEC, l'industrie et le transport sont le deuxième et le troisième secteur d'activité les plus émetteurs de GES, comptabilisant respectivement 19,5 % et 19,0 % des émissions globales.

Différents pays ont pris des engagements pour lutter contre le changement climatique. Cette volonté passe par des mesures visant la réduction des émissions GES dans les différents secteurs économiques. Ainsi, l'Accord de Paris signé après la COP 21 (2015), regroupe les engagements des pays pour réduire les émissions GES anthropogéniques afin de maintenir à 1,5 °C l'augmentation de la température globale par rapport aux niveaux d'avant la révolution industrielle.

La France a fixé des objectifs encore plus ambitieux pour la réduction des GES : la loi de transition énergétique pour la croissance verte établit ainsi des objectifs de réduction de 40 % pour 2030 à 75 % en 2050 (« facteur 4 »). De plus, elle préconise aussi une diminution de 30 % de la consommation des énergies fossiles tout en augmentant la part des énergies renouvelables jusqu'à 32 % par rapport aux niveaux de 2012.

De plus, l'adoption de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) permet d'orienter les actions d'atténuation du changement climatique. Concernant le secteur du transport, elle établit une réduction des émissions de 28 % (par rapport à 2015) à l'horizon 2030, visant la neutralité carbone pour 2050. Ces objectifs seront atteints entre autres, à travers la décarbonation de l'énergie consommée, l'amélioration des conditions de circulation et la réduction de l'empreinte carbone des infrastructures.

9.1.1) L'évaluation carbone

Dans un contexte de lutte contre le changement climatique, les exigences environnementales concernant l'empreinte carbone des infrastructures de transport rendent impératives les démarches de maîtrise et suivi des émissions GES. En ce sens, le bilan des émissions de gaz à effet de serre (GES) permet d'évaluer la pression que les projets d'infrastructure exercent sur le climat à travers l'estimation du potentiel de réchauffement global (mesuré en t CO₂e).

En effet, les projets d'infrastructure émettent des GES dans l'atmosphère de façon directe (combustion) ou indirecte (consommation d'électricité, traitement des déchets). De plus, ces projets mènent vers des réductions ou des augmentations des émissions GES en comparaison à une situation sans projet. Ainsi, la comptabilité carbone intègre les émissions GES directes et indirectes du projet mais aussi l'impact de ce dernier sur les émissions des usagers en comparaison au fil d'eau.

L'évaluation carbone suit plusieurs méthodes et standards internationaux. Parmi les plus importants, la méthode Bilan Carbone® développée par l'ADEME qui permet d'effectuer la comptabilité des émissions GES liées à la consommation des ressources et à la production des déchets engendrées par les activités des organisations. Ensuite, le standard EN 15978 qui définit chacune des phases du cycle de vie des infrastructures ce qui permet d'inventorier les sources de GES tout le long de la vie utile du projet.

9.1.2) Les principes de l'évaluation

Pour assurer la crédibilité et la reproductibilité de l'évaluation carbone, plusieurs principes guident la réalisation du bilan GES, parmi eux :

- Exhaustivité : il inclut toutes les informations dimensionnantes concernant les activités entraînées par le projet sur l'ensemble de son cycle de vie.
- Pertinence : l'évaluation carbone est approfondie et des mesures de réduction sont proposées pour les activités responsables des émissions GES majorantes.
- Consistance : les calculs des émissions sont réalisés en utilisant les mêmes critères et hypothèses ce qui assure la comparabilité des résultats.

- Transparence : les données d'entrée (données d'activité du projet, facteurs d'émission) et hypothèses sont introduites et annexées dans le bilan GES et ses sources citées.
- Prudence : le calcul des émissions GES est prudent quant aux hypothèses et valeurs prises en compte dans l'évaluation en se basant sur les situations le plus vraisemblables.
- Précision : toute évaluation carbone est approximative c'est pourquoi elle inclut les incertitudes associées aux calculs des GES.

9.1.3) Objectifs de l'évaluation

L'objectif est d'évaluer l'empreinte carbone des travaux sur la liaison RD901 - RD52 à travers un bilan GES permettant de mieux appréhender les émissions engendrées par le projet. En effet, l'évaluation de l'empreinte carbone suivant une approche d'analyse de cycle de vie permet d'éclairer les réflexions sur l'équilibre et les conséquences du projet sur l'environnement.

De plus, cette évaluation contribue à rationaliser les décisions du projet en objectivant les émissions GES attribuables au projet. L'objectif étant de maîtriser son empreinte carbone, elle devra ensuite conduire à des actions concrètes en termes de programmation de réduction des gaz à effet de serre en phase de conception du projet.

L'objectif est aussi d'infléchir les comportements sur les bons ordres de grandeur en mettant en avant les postes d'émission les plus importants. La réalisation du bilan GES du projet a pour but de fournir aux acteurs et décideurs des éléments de sensibilisation et des pistes d'action afin de réduire la pression sur le climat. De plus, l'évaluation GES permet de signifier l'impact du projet à l'ensemble des parties prenantes et de les engager dans la démarche de maîtrise et suivi de l'empreinte carbone. Lors des phases ultérieures, cette évaluation permettra de faire évoluer les éléments de conception pour contribuer à l'atteinte des objectifs de réduction des GES sur lesquels les différentes parties prenantes se seront engagées.

Du point de vue réglementaire, le décret n°2017-725 du 3 mai 2017 stipule que les émissions de GES doivent être évaluées pour les projets publics car le niveau de soutien financier accordé à ces derniers « intègre, systématiquement et parmi d'autres critères, le critère de contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ». Il définit également les principes et modalités de calcul des émissions GES : l'approche du cycle vie de l'évaluation, le périmètre, les sources des données à exploiter, etc. Ainsi, le présent document permet de répondre aux exigences de ce décret.

9.1.4) Outil utilisé pour l'évaluation

Le Bilan GES est réalisé avec l'outil InfraCost développé par Ingérop sur la base de la méthodologie de l'ADEME : Bilan Carbone® Version 8.5. Cet outil permet de décomposer les différentes sources d'émission d'un projet par catégorie suivant une logique de cycle vie. L'outil s'appuie sur des facteurs d'émission issus des différentes bases de données qui renseignent le taux d'émission des GES lors de la fabrication des intrants, leur mise en œuvre, le fret, les déplacements, etc. Afin d'assurer la crédibilité et la reproductibilité de l'évaluation carbone, InfraCost respecte les six principes qui guident la réalisation des bilans GES : exhaustivité, pertinence, consistance, transparence, prudence et précision.



Figure 29 : logo certification de la conformité à la méthode Bilan Carbone®

IX.2 Données d'entrée

9.2.1) Les emprises du projet

L'évaluation considère le périmètre des travaux, limité aux emprises du projet, les ouvrages hydrauliques connexes et les aménagements paysagers. Ce périmètre ne prend pas en compte l'impact des travaux sur la circulation routière dans les axes adjacents aux emprises du projet.

Ce périmètre sera élargi ultérieurement pour prendre en compte l'influence du projet sur les usagers. Il sera en accord avec les études socio-économiques et le modèle de transport afin de prendre en compte les émissions liées à la modification de la part modale des déplacements.

9.2.2) Le détail quantitatif estimatif

À partir du détail quantitatif estimatif du projet, il a été possible de modéliser les flux en phase travaux et d'extrapoler sur le cycle de vie du projet. Ce quantitatif a été réalisé à partir du DQE niveau AVP.

Chacun des travaux renseignés dans le DQE a fait l'objet d'une décomposition afin de constituer les inventaires de cycle de vie. Ceux-ci permettent d'établir les flux de matériaux et d'énergie et de les associer aux FE des bases de données exploitées, notamment lorsqu'il s'agit des travaux impliquant différentes activités (p.ex. le bétonnage d'une pile : surface de coffrage en m², quantité de béton mis en place en m³ puis converti en tonnes pour le calcul du fret).

De même, les travaux chiffrés au forfait sont aussi décomposés à partir des informations renseignées par les équipes techniques concernées.

POSTES ET RUBRIQUES	U	QUANTITES	PRIX UNITAIRE T.T.C.	ESTIMATION
I. - ETUDES :				
Environ 1,5 % du poste III. Travaux				156 950
TOTAL DU POSTE I. ...				156 950
II. - ACQUISITIONS FONCIERES ET FRAIS ANNEXES :				
II.1 - Acquisitions de terrains				
1.1 - Terrains de culture et pâtures	m2	197 735	1,82	359 878
1.2 - Terrains bâtis	m2			
1.3 - bois et forêts	m2	0		
Total de la rubrique II.1 ...				359 878
II.2 - Acquisition d'immeuble bâti				
			Estimé à	
Total de la rubrique II.2 ...				
II.3 - Frais de remembrement et frais connexes				
	ha			
Total de la rubrique II.3 ...				
II.4 - Frais de relogement				

Figure 30 : extrait du détail quantitatif estimatif des travaux

Les inventaires de cycle de vie ainsi que les détails des métrés sont présentés respectivement dans les annexes 1 et 4 de la note de calcul jointe.

9.2.3) Les plans du projet

En complément aux quantités renseignées dans le DQE, l'évaluation carbone s'appuie sur les plans et les notices explicatives. Ces pièces permettent notamment, de décomposer les travaux forfaitaires et de mieux prendre en compte la géométrie des ouvrages construits.

9.2.4) L'état initial de l'environnement et les emprises du projet

L'inventaire des écologues et les emprises du projet (en distinguant les zones perméabilisées et imperméabilisées) ont été utilisés pour évaluer l'impact sur l'occupation du sol par le projet. Le croisement de ces informations géoréférencées a permis d'estimer les surfaces impactées.

IX.3 Bilan GES

9.3.1) Synthèse globale

Le bilan global des émissions directes et indirectes est de 10 504 tCO₂e (hors émissions liées aux usagers). L'incertitude totale est estimée à 1 320 tCO₂e, soit 12,6 % des émissions estimées. Les détails des estimations sont présentés dans la note de calcul jointe à ce rapport. Une première observation rend compte de l'importance de la part des émissions liées aux travaux de construction avec 9 508 tCO₂e, soit 90,5 % du total des émissions du projet.

La répartition des émissions par phase du cycle de vie est présentée dans la Figure 2. Il est à rappeler que la période d'évaluation est de 20 ans. Le projet n'ayant pas pour objet à être démantelé, les émissions liées à la fin de vie ne sont présentées.

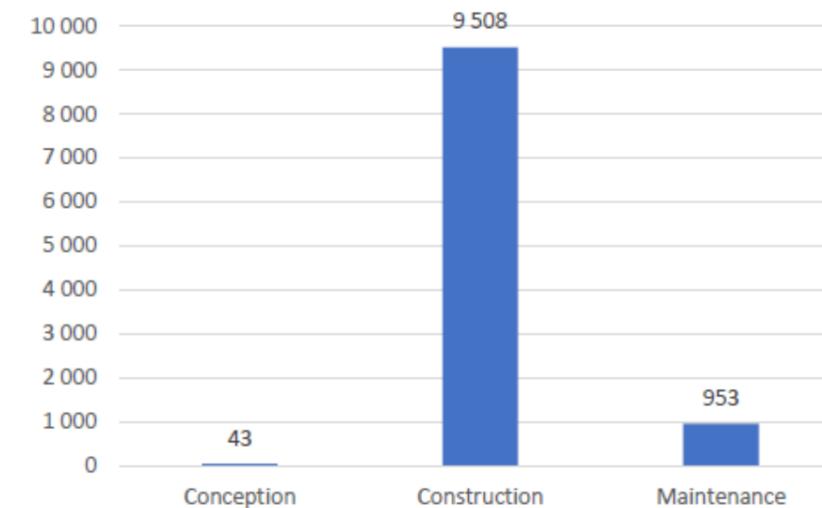


Figure 31 : émissions de GES par phase

9.3.2) Synthèse sur la phase construction

La répartition des émissions par métiers pour la phase de construction est présentée dans la Figure 3. En phase construction, les corps de métiers les plus émetteurs sont les chaussées avec 56 % du total, et les terrassements pour 18 %.

Il faut noter que l'utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF), y compris les mesures compensatoires, sont comptabilisées dans la phase construction et conduisent à une réduction de 447 tCO₂e du bilan carbone total du projet. Les détails de calcul des émissions liées à l'UTCF est présentée dans l'Annexe 2 et dans la note de calcul jointe à ce rapport.

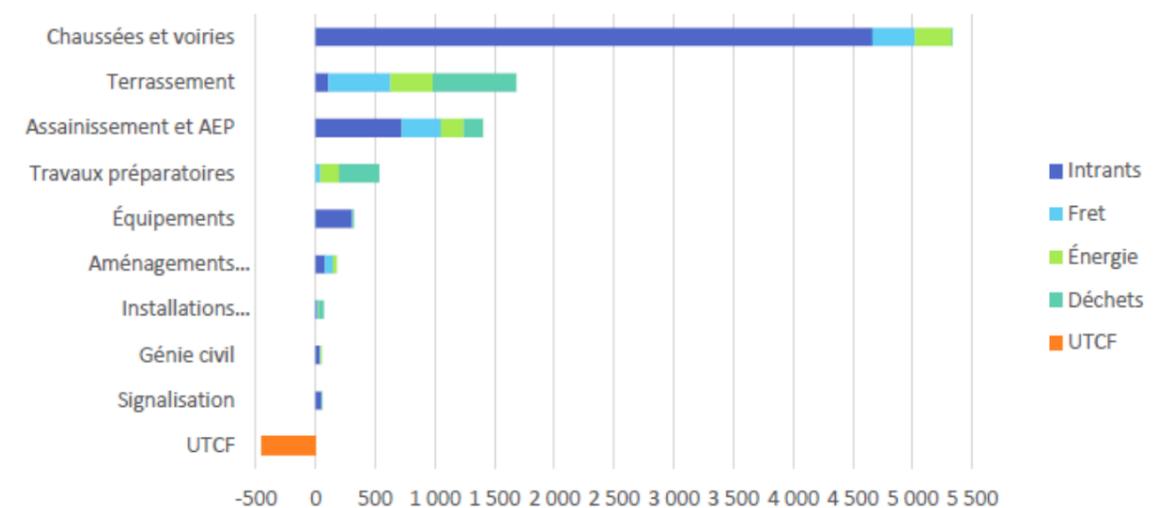


Figure 32 : décomposition des émissions GES en phase construction par corps de métier

La figure ci-dessous présente la décomposition des émissions par postes émissifs durant la phase de construction :

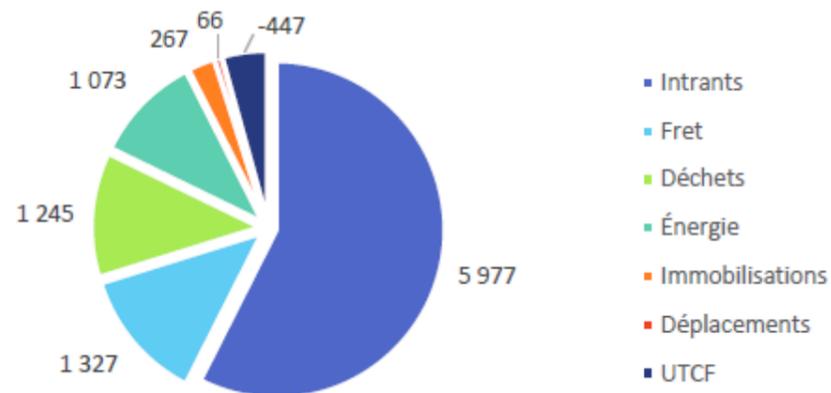


Figure 33 : décomposition des émissions GES en phase construction par poste émissif

Les intrants représentent 60 % des émissions totales durant la phase de construction, suivi par le fret (13,3 %), le traitement des déchets (12,5 %) et l'énergie (10,8 %). Les immobilisation et déplacements représentent 3,3 % des émissions GES en phase construction. La répartition des émissions des intrants par type de matériaux durant la phase de construction est présentée dans la figure suivante :

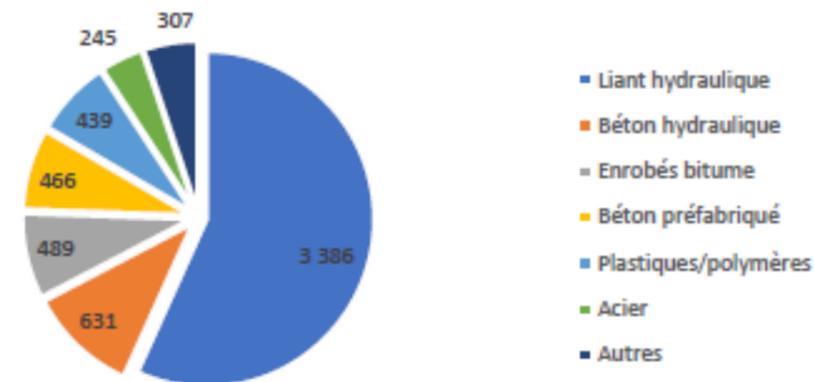


Figure 34 : décomposition des émissions GES par type de intrants durant la phase de construction

Les intrants les plus impactant dans le cadre du projet en termes d'émissions sont les liants hydrauliques (57 %), et les bétons (18,5 %).

9.3.3) Synthèse sur les émissions véhiculaires

Les études de trafic montrent que la réalisation du contournement entraîne une augmentation d'environ 21 millions véh.km en trafic total pendant une période de 20 ans à compter de la mise en service du contournement en 2027. Cette augmentation de trafic conduit à des émissions additionnelles de 5 485 tCO₂e durant cette même période.

La différence entre le scénario de référence et le scénario projet par type de véhicule est présentée dans la figure suivante :

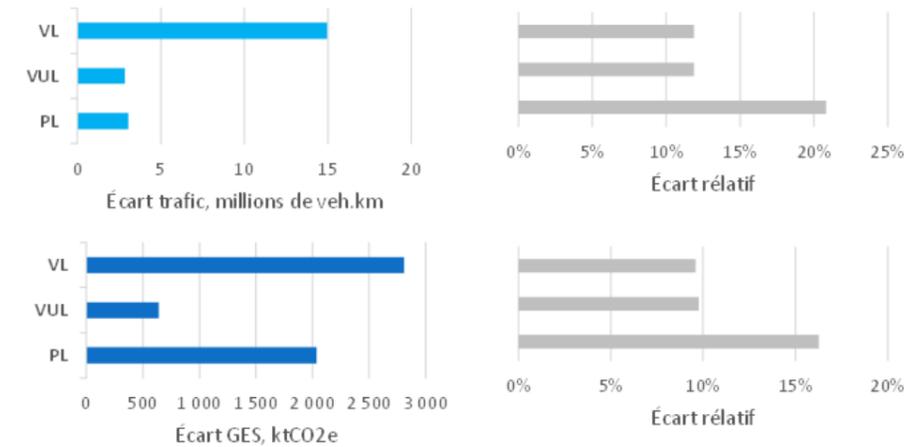


Figure 35 : différences de trafic et émissions véhiculaires entre les scénarii référence et projet

IX.4 Conclusion

Le bilan global initial des émissions de GES hors usagers est évalué à 10 504 tCO₂e, avec une incertitude de 1 320 tCO₂e, soit 12,6 % des émissions estimées. En phase construction, l'empreinte carbone du projet est de 9 508 tCO₂e. Les émissions liées au changement des affectations du sol dus à l'installation du projet sont de 541 tCO₂e, et celles liées aux mesures compensatoires sont de -988 tCO₂e.

De plus, les projections de trafic prévoient que la construction du contournement entraînera une augmentation de 5 485 tCO₂e des émissions totales de trafic, ce qui ramène les émissions GES totales liées au projet à 15 989 tCO₂e sur la période d'évaluation de 20 ans. Les émissions du bilan initial et l'augmentation des émissions véhiculaires sont présentées dans la figure ci-dessous.

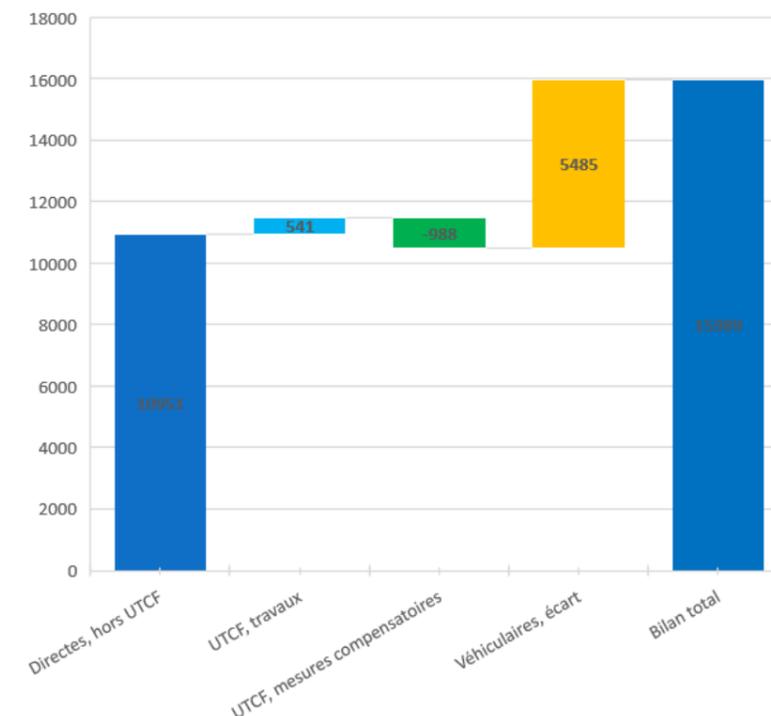


Figure 36 : bilan total des émissions directes et véhiculaires



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_{10} , $PM_{2.5}$) qui différencie les effets sur la santé. Les composés semi-volatils ont la propriété d'être à la fois sous forme gazeuse et particulaire (par exemples les hydrocarbures aromatiques polycycliques). Les méthodes de mesure diffèrent fortement en fonction de la phase du polluant à étudier.
- La **persistance** chimique. Les polluants dits organiques persistants (POP) tels que les pesticides, dioxines, polychlorobiphényles, possèdent une grande stabilité leur permettant de contaminer la 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_2) ou le méthane (CH_4).

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

Polluant	Description
Oxydes d'azote (NO_x)	Ils regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). Ces polluants sont très majoritairement émis par le transport routier et de ce fait constituent un excellent traceur de ce type de pollution. Ils participent de façon importante à la pollution à l'ozone en période estivale.
Monoxyde de carbone (CO)	Il est émis lors des phénomènes de combustion : moteur thermique, chauffage urbain et production d'électricité. Ses émissions ont subi une baisse rapide de 1980 à 2000 puis continuent de légèrement 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).
Dioxyde de soufre (SO_2)	Principalement émis par le secteur de transformation d'énergie puis par l'industrie. Ce composé responsable de pollution importante au milieu du XX ^{ème} siècle a observé une diminution très importante depuis l'utilisation de carburant à faible teneur en soufre et la diminution de l'utilisation de combustible fossile dans la production d'électricité. Ses concentrations sont aujourd'hui très faibles dans l'air ambiant et ne constituent plus un problème sanitaire en France.
Composés organiques volatils (COV)	Les COV constituent une famille très large de composés chimiques regroupant les composés aromatiques, les alcanes, les alcools, les phtalates, les aldéhydes etc. Ils sont émis principalement par le secteur résidentiel/tertiaire, les industries manufacturières et aujourd'hui dans une moindre mesure par le trafic routier. Leurs émissions ont diminué régulièrement depuis 1990 grâce à l'utilisation du pot catalytique, au progrès du stockage des hydrocarbures, à une meilleure gestion des solvants par les industriels (notamment avec l'instauration des plans de gestion de solvant) et à la substitution de produits manufacturés par des produits à plus faible teneur en solvant. Le benzène est le seul COV réglementé dans la loi sur l'air. Ce composé cancérigène est dorénavant essentiellement émis par le secteur résidentiel/tertiaire.
Particules	Les particules couvrent différentes fractions granulométriques parmi lesquelles la loi sur l'air fixe des valeurs de référence pour les PM_{10} (particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 μm) et les $PM_{2.5}$ (diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 μm). Elles sont issues de nombreuses sources différentes (trafic routier, chauffage au bois, agriculture...) mais restent un bon traceur du trafic routier, notamment en zone urbaine et en particulier au niveau des points de trafic. De manière générale, les émissions en particules diminuent régulièrement depuis 1990 sur l'ensemble des secteurs sauf pour celui du transport routier où elles se stabilisent.
Métaux lourds	Polluants présents essentiellement sous forme particulaire, ils intègrent notamment le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le mercure (Hg), le chrome (Cr), le cadmium (Cd) et l'arsenic (As). Ils sont émis majoritairement par l'industrie à l'exception du cuivre émis par le transport et le nickel par le secteur de la transformation d'énergie. Les émissions décroissent depuis une vingtaine d'années en raison des améliorations techniques apportées au secteur industriel. La diminution du plomb résulte quant à elle de l'utilisation d'essence sans plomb.
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	Famille de composés émis lors des phénomènes de combustion. Ils sont émis pour deux tiers par le secteur résidentiel/tertiaire et pour un quart par le trafic routier. Les émissions ont diminué de 1990 à 2007 mais stagnent ces dernières années. Le benzo(a)pyrène, considéré comme le plus toxique, est le seul composé de la famille des HAP à être réglementé en France.
Dioxyde de carbone (CO_2)	Le CO_2 , et de manière générale l'ensemble des gaz à effet de serre, ne présentent pas d'impact sanitaire mais contribuent au réchauffement climatique.
Ozone (O_3)	L'ozone est atypique par rapport aux autres composés car c'est un polluant secondaire. Il est produit principalement lors de réactions chimiques entre les COV et les NO_x sous l'action des ultraviolets. Comme il n'est pas directement émis par une source, ce polluant n'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 35 : 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 annuel¹⁸ des concentrations de particules PM₁₀, de dioxyde d'azote (NO₂) et d'ozone (O₃) 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.

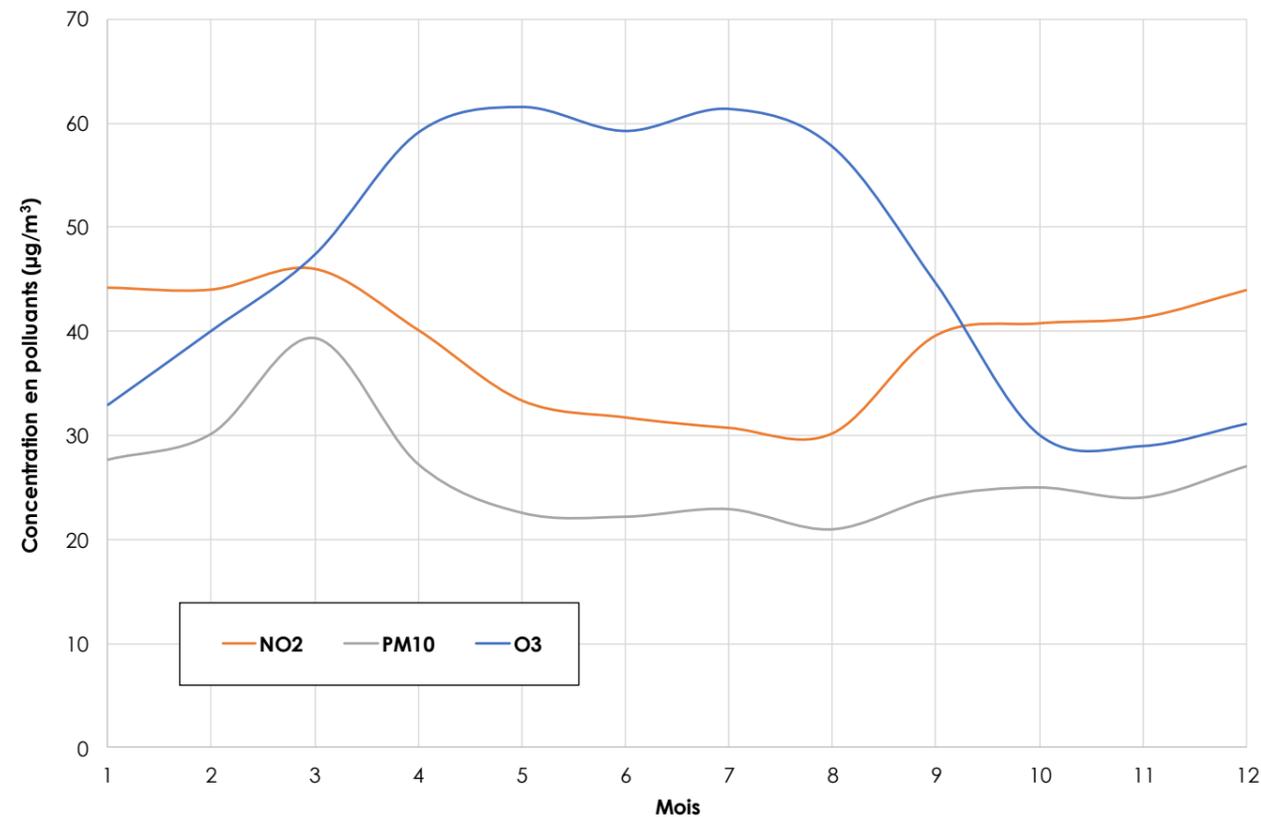


Figure 37 : profil annuel des concentrations de NO₂/PM₁₀/O₃ en Ile-de-France (données : Airparif)

Les fluctuations des concentrations de NO₂ 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 O₃ varient de manière inverse à celles du NO₂. Ce comportement est lié aux réactions de chimie atmosphérique et notamment au cycle de formation/consommation entre l'ozone et les NO_x. De plus, les variations de l'ozone sont accentuées par des réactions photochimiques : les concentrations les plus élevées apparaissent lorsque l'ensoleillement est plus important.

Les variations des concentrations en particules PM₁₀ 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.

¹⁸ 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.

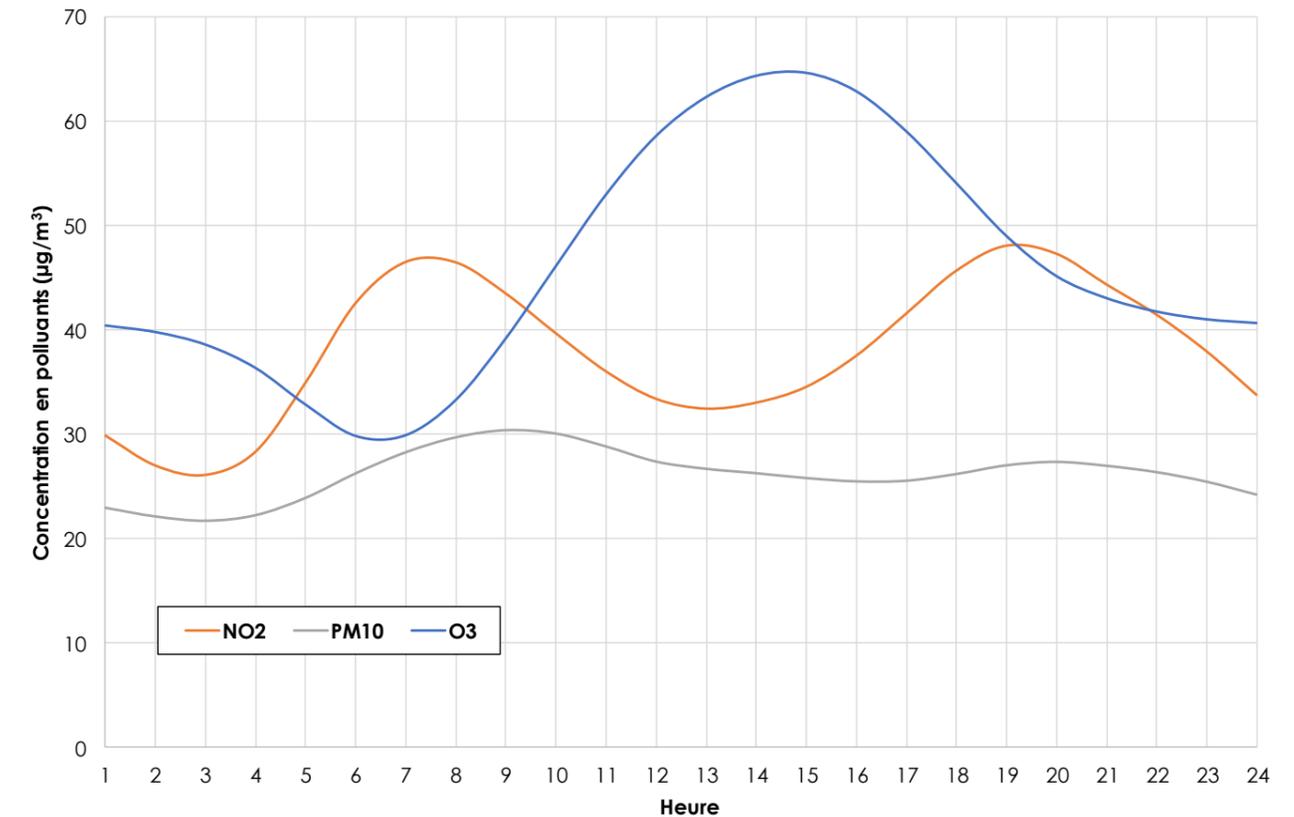


Figure 38 : profil journalier des concentrations de NO₂/PM₁₀/O₃ en Ile-de-France (données : Airparif)

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 NO₂ 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 PM₁₀ 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 françaises¹⁹ et internationales²⁰ qui mettent en évidence une augmentation de la mortalité corrélée à l'augmentation des concentrations en polluants. Les résultats du projet européen Aphekom (2008-2011) indiquent que le non-respect de l'objectif de qualité OMS pour les PM_{2.5} dans les 25 villes étudiées, causerait 19 000 décès prématurés par an. En particulier, les résultats ont montré que si les niveaux de particules PM_{2.5} étaient conformes aux objectifs de qualité de l'OMS de 10 µg/m³ en moyenne annuelle, les habitants de Paris et de la proche couronne gagneraient six mois d'espérance de vie (cf. figure ci-dessous).

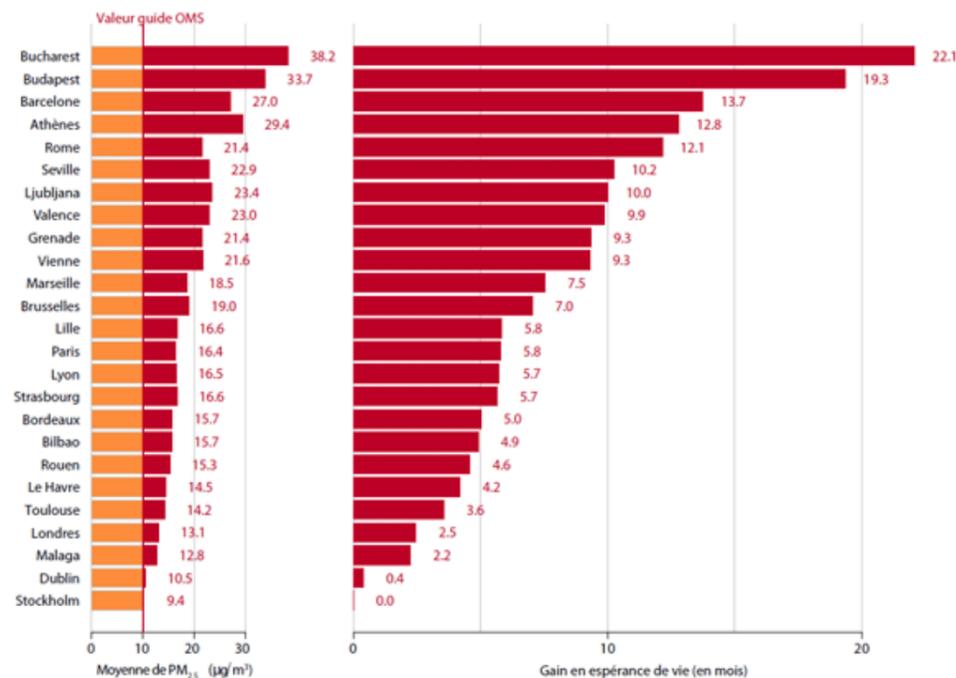


Figure 39 : gain d'espérance de vie pour une réduction des teneurs annuelles en PM_{2.5} à 10 µg/m³

¹⁹Exemple : 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).

²⁰Meta-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 40 : 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_{2.5} en Europe, avec environ 90 % des citoyens européens exposés à des niveaux de pollution supérieurs aux valeurs guides de l'OMS.

Une étude²¹ plus récente réalisée en 2016 par Santé publique France confirme le poids sanitaire de la pollution par les particules fines PM_{2.5} en France. L'agence de santé estime au moyen d'une évaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS) une perte d'espérance de vie pouvant dépasser 2 ans (pour une personne âgée de 30 ans) dans les villes les plus exposées. Elle estime également une perte d'espérance de vie de 15 mois dans les zones urbaines de plus de 100 000 habitants, de 10 mois en moyenne pour les zones comprenant entre 2 000 et 100 000 habitants et de 9 mois en moyenne dans les zones rurales. Au total, cela correspond en France à environ 48 000 décès prématurés par an, soit 9,6 % de la mortalité totale en France. Ces résultats actualisent la dernière estimation réalisée en 2005 dans le cadre du programme CAFE²² 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 SO₂ 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.

²¹ 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.

²² 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 journalières²³.

En avril 2015, une étude²⁴ 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 rapport²⁵ du Sénat publié en juillet 2015 reprend les données du programme CAFE et estime que le coût total de l'impact sanitaire (mortalité et morbidité) de la pollution atmosphérique (particules et ozone) pour la France serait estimé entre 68 et 97 milliards d'euros par an. Par ailleurs, ce rapport met en évidence que le montant de certaines actions de lutte contre la pollution atmosphérique est inférieur aux bénéfices attendus de la prévention des impacts sanitaires, et donc que ces mesures de prévention engendrent des économies pour le pays. Par exemple, le projet Aphekom a permis de montrer que les politiques européennes de diminution du taux de soufre dans les carburants dans les années 1990 se sont traduites par une baisse du niveau de dioxyde de soufre (SO₂) ambiant et une réduction de la mortalité dans 14 villes européennes ; environ 2 200 décès par an, soit une économie estimée à 192 millions d'euros.

D'après une étude réalisée conjointement par la Banque Mondiale et l'Université de Washington et parue en septembre 2016²⁶, 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^e 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 2000²⁷.
- 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 36 : récapitulatif de la réglementation en vigueur en France sur la qualité de l'air

²³ 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.

²⁴ 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.

²⁵ Commission d'enquête sénatoriale. Pollution de l'air, le coût de l'inaction. Tome I : Rapport. Juillet 2015.

²⁶ 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.

²⁷ INFRAS & IWW. External Costs of Transport (accident, environmental and congestion costs) in Western Europe. 2000.

Benzène (C ₆ H ₆)		
Objectif de qualité	2 µg/m ³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	5 µg/m ³	Moyenne annuelle
Dioxyde d'azote (NO ₂)		
Objectif de qualité	40 µg/m ³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	200 µg/m ³	Moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures par an
	40 µg/m ³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la végétation	30 µg/m ³	Moyenne annuelle d'oxydes d'azote
Seuil d'information et de recommandation	200 µg/m ³	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	400 µg/m ³	Moyenne tri-horaire
	200 µg/m ³	Moyenne tri-horaire prévue à J+1 si 200 µg/m ³ dépassés à J0 et J-1 en moyenne tri-horaire
Ozone (O ₃)		
Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	120 µg/m ³	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures par an
Objectif de qualité pour la protection de la végétation	6 000 µg/m ³ .h	AOT40 ²⁸ calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	120 µg/m ³	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 ³ .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 ³	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	240 µg/m ³	Moyenne horaire
Seuils d'alerte nécessitant la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence	1 ^{er} seuil : 240 µg/m ³	Moyenne tri-horaire
	2 ^{ème} seuil : 300 µg/m ³	Moyenne tri-horaire
	3 ^{ème} seuil : 360 µg/m ³	Moyenne horaire
Monoxyde de carbone (CO)		
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	10 000 µg/m ³	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures
Dioxyde de soufre (SO ₂)		
Objectif de qualité	50 µg/m ³	Moyenne annuelle
Valeur limite pour la protection de la santé humaine	350 µg/m ³	Moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 24 heures par an
	125 µg/m ³	Moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 jours par an
Valeur limite pour la protection des écosystèmes	20 µg/m ³	Moyenne annuelle et moyenne sur la période du 1 ^{er} octobre au 31 mars
Seuil d'information et de recommandation	300 µg/m ³	Moyenne horaire
Seuil d'alerte	500 µg/m ³	Moyenne horaire pendant 3 heures consécutives

Tableau 37 : valeurs réglementaires pour les composés gazeux dans l'air ambiant

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

Tableau 38 : valeurs réglementaires pour les composés particulaires dans l'air ambiant

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

Tableau 39 : définition des seuils réglementaires

²⁸ AOT 40 (exprimé en µg/m³.heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ et 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 h et 20 h.

Annexe 2 : Fiches de point de mesure

P1					
Localisation : RD901			Coordonnées		
Typologie : <input checked="" type="checkbox"/> Trafic <input type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'0.01"N 1°44'33.20"E		
Photographies			Plan		
					
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	192	02/05/2023	12:43	16/05/2023	10:24

P2					
Localisation : RD901 – transect			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°37'58.94"N 1°44'35.16"E		
Photographies			Plan		
					
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	160	02/05/2023	12:49	16/05/2023	10:24

P3					
Localisation : RD901 – transect			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°37'57.93"N 1°44'38.29"E		
Photographies			Plan		
					
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	185	02/05/2023	12:55	16/05/2023	10:28

P4					
Localisation : RD52			Coordonnées		
Typologie : <input checked="" type="checkbox"/> Trafic <input type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'21.85"N 1°45'29.38"E		
Photographies			Plan		
					
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	190	02/05/2023	12:04	16/05/2023	10:19

P5					
Localisation : RD52 – transect			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'20.66"N 1°45'27.90"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement	Fin du prélèvement		
NO ₂	196	02/05/2023 14:09	16/05/2023	11:19	

P6					
Localisation : RD52 – transect			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'19.65"N 1°45'26.66"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement	Fin du prélèvement		
NO ₂	158	02/05/2023 14:17	16/05/2023	11:26	

P7					
Localisation : croisement RD901 / RD215			Coordonnées		
Typologie : <input checked="" type="checkbox"/> Trafic <input type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'19.42"N 1°44'35.89"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement	Fin du prélèvement		
NO ₂	198	02/05/2023 14:19	16/05/2023	11:26	

P8					
Localisation : rue Ferdinand Farion (école Lucien Caustès)			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'13.47"N 1°44'41.09"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement	Fin du prélèvement		
NO ₂	170	02/05/2023 12:29	16/05/2023	10:45	

P9					
Localisation : place de l'Abbaye (école)			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'21.21"N 1°44'50.08"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	200	02/05/2023	12:16	16/05/2023	10:14

P10					
Loc. : rue des Allées - zone résidentielle proche déviation			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°37'54.61"N 1°44'53.52"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	166	02/05/2023	13:03	16/05/2023	10:31

P11					
Localisation : rue de Longuerèques - zone proche déviation			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'3.17"N 1°45'58.85"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	197	02/05/2023	13:37	16/05/2023	11:10

P12					
Localisation : RD238 – maison proche déviation			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°37'44.59"N 1°45'4.05"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	154	02/05/2023	13:15	16/05/2023	11:49

P13					
Loc. : route de la Blanche Jument - maison proche déviation			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°37'48.57"N 1°45'44.80"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	194 / 169	02/05/2023	13:28	16/05/2023	11:02

P14					
Loc. : rue Edith Piaf – zone résidentielle proche déviation			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'5.71"N 1°45'19.17"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	191	02/05/2023	14:32	16/05/2023	11:31

P15					
Localisation : Le Fort Manoir – maison proche déviation			Coordonnées		
Typologie : <input type="checkbox"/> Trafic <input checked="" type="checkbox"/> Fond urbain <input type="checkbox"/> Influencé			50°38'15.16"N 1°46'30.44"E		
Photographies			Plan		
Polluant	Capteur / Filtre	Début du prélèvement		Fin du prélèvement	
NO ₂	189	02/05/2023	13:58	16/05/2023	11:15

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

 1) Concentrations moyennes annuelles

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

Site vulnérable	Ecole J. Moulin		Maison Rurale		Collège Le Trion		Ecole Lucien		Ecole Wolmer	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
NO ₂	1,94E+01	1,93E+01	1,93E+01	1,92E+01	1,92E+01	1,91E+01	1,93E+01	1,93E+01	1,93E+01	1,92E+01
PM ₁₀	3,67E+01	3,66E+01	3,66E+01	3,66E+01	3,66E+01	3,66E+01	3,66E+01	3,66E+01	3,66E+01	3,66E+01
PM _{2.5}	2,02E+01	2,02E+01	2,02E+01	2,02E+01	2,02E+01	2,02E+01	2,02E+01	2,02E+01	2,02E+01	2,02E+01
Benzène	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-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	2,00E-01	2,00E-01
Chrome VI	4,80E-04	3,16E-04	4,44E-04	2,35E-04	2,75E-04	1,89E-04	4,11E-04	4,49E-04	3,81E-04	2,72E-04
Nickel	8,33E-04	8,33E-04	8,33E-04	8,33E-04	8,33E-04	8,33E-04	8,33E-04	8,33E-04	8,33E-04	8,33E-04
Arsenic	3,90E-04	3,90E-04	3,90E-04	3,90E-04	3,90E-04	3,90E-04	3,90E-04	3,90E-04	3,90E-04	3,90E-04
Acénaphène	3,14E-04	3,10E-04	3,13E-04	3,08E-04	3,07E-04	3,05E-04	3,11E-04	3,12E-04	3,10E-04	3,08E-04
Acénaphthylène	3,11E-04	3,08E-04	3,10E-04	3,06E-04	3,05E-04	3,04E-04	3,08E-04	3,09E-04	3,08E-04	3,06E-04
Anthracène	3,04E-04	3,03E-04	3,04E-04	3,02E-04	3,02E-04	3,02E-04	3,03E-04	3,04E-04	3,03E-04	3,02E-04
Benzo(a)anthracène	2,02E-04	2,01E-04	2,02E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,02E-04	2,02E-04	2,01E-04	2,01E-04
Benzo(a)pyrène	1,41E-04	1,41E-04	1,41E-04	1,41E-04	1,41E-04	1,40E-04	1,41E-04	1,41E-04	1,41E-04	1,41E-04
Benzo(b)fluoranthène	4,02E-04	4,01E-04	4,02E-04	4,01E-04	4,01E-04	4,01E-04	4,01E-04	4,02E-04	4,01E-04	4,01E-04
Benzo(k)fluoranthène	2,02E-04	2,01E-04	2,02E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04	2,01E-04
Benzo(ghi)peryène	4,03E-04	4,02E-04	4,02E-04	4,01E-04	4,01E-04	4,01E-04	4,02E-04	4,02E-04	4,02E-04	4,01E-04
Chrysène	4,05E-04	4,03E-04	4,04E-04	4,02E-04	4,02E-04	4,02E-04	4,03E-04	4,04E-04	4,03E-04	4,03E-04
Dibenzo(a,h)anthracène	4,02E-05	4,02E-05	4,02E-05	4,01E-05	4,01E-05	4,01E-05	4,02E-05	4,02E-05	4,02E-05	4,01E-05
Fluorène	1,51E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03
Fluoranthène	1,82E-03	1,81E-03	1,82E-03	1,81E-03	1,81E-03	1,81E-03	1,82E-03	1,82E-03	1,82E-03	1,81E-03
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	3,01E-04	3,01E-04	3,01E-04	3,01E-04	3,01E-04	3,00E-04	3,01E-04	3,01E-04	3,01E-04	3,01E-04
Benzo(j)fluoranthène	1,53E-03	1,23E-03	1,42E-03	1,04E-03	1,01E-03	8,63E-04	1,26E-03	1,37E-03	1,25E-03	1,06E-03
Phénanthrène	5,14E-03	5,13E-03	5,14E-03	5,12E-03	5,12E-03	5,12E-03	5,13E-03	5,14E-03	5,13E-03	5,12E-03
Pyrène	1,32E-03	1,31E-03	1,32E-03	1,31E-03	1,31E-03	1,31E-03	1,31E-03	1,31E-03	1,31E-03	1,31E-03

Tableau 40 : concentrations modélisées en moyenne annuelle

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

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

Site vulnérable	Organe cible	Scénario	Ecole J. Moulin		Maison Rurale		Collège Le Trion		Ecole Lucien		Ecole Wolmer	
			Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Immunitaire	Benzène		4,00E-02	4,00E-02	4,00E-02	4,00E-02	4,00E-02	4,00E-02	4,00E-02	4,00E-02	4,00E-02	4,00E-02
Reproducteur	1,3-but.		1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01
Cerveau	Arsenic		2,60E-02	2,60E-02	2,60E-02	2,60E-02	2,60E-02	2,60E-02	2,60E-02	2,60E-02	2,60E-02	2,60E-02
Fœtus	B(a)P		7,06E-02	7,04E-02	7,05E-02	7,03E-02	7,03E-02	7,02E-02	7,04E-02	7,05E-02	7,04E-02	7,03E-02
Respiratoire	Chrome VI		1,60E-02	1,05E-02	1,48E-02	7,83E-03	9,17E-03	6,30E-03	1,37E-02	1,50E-02	1,27E-02	9,08E-03
	Nickel		9,25E-03	9,25E-03	9,25E-03	9,25E-03	9,25E-03	9,25E-03	9,25E-03	9,25E-03	9,25E-03	9,25E-03
	Total		2,52E-02	1,98E-02	2,40E-02	1,71E-02	1,84E-02	1,55E-02	2,30E-02	2,42E-02	2,20E-02	1,83E-02

Tableau 41 : QD chronique pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant

Aucun quotient de danger ne dépasse la valeur de 1, indiquant **l'absence de risque sanitaire lié aux substances à effets de seuil** sur tous les sites vulnérables considérés **pour le scénario majorant**.

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

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

Site vulnérable	Ecole J. Moulin		Maison Rurale		Collège Le Trion		Ecole Lucien		Ecole Wolmer	
	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
PM ₁₀	8,50E-01	8,50E-01	8,50E-01	8,49E-01	8,49E-01	8,49E-01	8,50E-01	8,50E-01	8,50E-01	8,49E-01
PM _{2.5}	2,59E-01	2,59E-01	2,59E-01	2,59E-01	2,59E-01	2,59E-01	2,59E-01	2,59E-01	2,59E-01	2,59E-01
Benzène	1,04E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,04E-05	1,04E-05
1,3 butadiène	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06	6,00E-06
Chrome VI	1,92E-05	1,27E-05	1,77E-05	9,40E-06	1,10E-05	7,55E-06	1,64E-05	1,80E-05	1,52E-05	1,09E-05
Nickel	1,42E-07	1,42E-07	1,42E-07	1,42E-07	1,42E-07	1,42E-07	1,42E-07	1,42E-07	1,42E-07	1,42E-07
Arsenic	5,85E-08	5,85E-08	5,85E-08	5,85E-08	5,85E-08	5,85E-08	5,85E-08	5,85E-08	5,85E-08	5,85E-08
Acénaphène	1,89E-10	1,86E-10	1,88E-10	1,85E-10	1,84E-10	1,83E-10	1,86E-10	1,87E-10	1,86E-10	1,85E-10
Acénaphthylène	1,86E-10	1,85E-10	1,86E-10	1,83E-10	1,83E-10	1,82E-10	1,85E-10	1,85E-10	1,85E-10	1,84E-10
Anthracène	1,83E-09	1,82E-09	1,82E-09	1,81E-09	1,81E-09	1,81E-09	1,82E-09	1,82E-09	1,82E-09	1,81E-09
B(a)anthracène	1,21E-08	1,21E-08	1,21E-08	1,21E-08	1,21E-08	1,20E-08	1,21E-08	1,21E-08	1,21E-08	1,21E-08
B(b)fluoranthène	8,47E-09	8,45E-09	8,46E-09	8,44E-09	8,43E-09	8,42E-09	8,45E-09	8,46E-09	8,45E-09	8,44E-09
B(k)fluoranthène	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,40E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08
B(ghi)peryène	1,21E-09	1,21E-09	1,21E-09	1,21E-09	1,20E-09	1,20E-09	1,21E-09	1,21E-09	1,21E-09	1,21E-09
Benzo(a)pyrène	2,42E-07	2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07	2,41E-07
Chrysène	2,43E-09	2,42E-09	2,42E-09	2,41E-09	2,41E-09	2,41E-09	2,42E-09	2,42E-09	2,42E-09	2,42E-09
Db(a,h)anthracène	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,40E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08	2,41E-08
Fluorène	9,03E-10	9,02E-10	9,03E-10	9,02E-10	9,02E-10	9,01E-10	9,02E-10	9,03E-10	9,02E-10	9,02E-10
Fluoranthène	1,09E-09	1,09E-09	1,09E-09	1,09E-09	1,09E-09	1,08E-09	1,09E-09	1,09E-09	1,09E-09	1,09E-09
I(1,2,3-cd)pyrène	3,62E-07	3,61E-07	3,61E-07	3,61E-07	3,61E-07	3,61E-07	3,61E-07	3,61E-07	3,61E-07	3,61E-07
B(j)fluoranthène	1,68E-07	1,35E-07	1,57E-07	1,14E-07	1,11E-07	9,50E-08	1,38E-07	1,50E-07	1,38E-07	1,17E-07
Phénanthrène	3,09E-09	3,08E-09	3,08E-09	3,07E-09	3,07E-09	3,07E-09	3,08E-09	3,08E-09	3,08E-09	3,07E-09
Pyrène	7,90E-10	7,87E-10	7,89E-10	7,86E-10	7,85E-10	7,84E-10	7,88E-10	7,89E-10	7,88E-10	7,86E-10
Total	3,67E-05	3,01E-05	3,52E-05	2,68E-05	2,84E-05	2,49E-05	3,39E-05	3,54E-05	3,27E-05	2,83E-05

Tableau 42 : ERI pour l'exposition par inhalation pour le scénario majorant

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



Annexe 4 : Incertitudes sur l'évaluation des risques sanitaires

1) Identification des dangers

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

2) Relation dose-réponse

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

3) Estimation de l'exposition

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

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

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

4) Caractérisation du risque

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

Annexe 5 : Bilan de GES - méthodologie d'évaluation

L'approche globale de l'évaluation GES des infrastructures est basée sur la méthode Bilan Carbone®. Initialement conçue pour les organisations, elle permet de quantifier les émissions de gaz à effet de serre engendrées par la consommation des ressources nécessaires au déroulement de leurs activités dans un périmètre établi. Ainsi, un projet routier n'existe que parce que des usagers y circulent. Ces mêmes usagers ne peuvent utiliser leur véhicule que si de l'énergie est disponible (carburant, électricité).

Afin d'identifier la provenance des émissions GES, la comptabilité carbone effectuée suivant la méthode Bilan Carbone® permet de faire la différence entre :

- Les émissions de gaz à effet de serre qui prennent place au sein du périmètre de l'entité, issues des sources détenues ou contrôlées par l'organisation en question (Scope 1)
- Les émissions qui prennent place à l'extérieur de ce périmètre, mais qui sont tout de même nécessaires au déroulement des activités (Scope 2 et 3). Ces émissions concernent notamment la production et distribution d'énergie ainsi que celles liées aux phases du cycle de vie autres que la fabrication (transport, utilisation, fin de vie)

Les émissions qui figurent dans un Bilan GES ne sont donc pas uniquement celles dont l'entité est directement responsable, mais également celles dont elle dépend pour exister. Le degré de responsabilité s'appréciera en fonction des émissions considérées, du contexte d'ensemble et également de ses propres critères. Ainsi, l'analyse ne s'arrête pas à la détermination du degré de responsabilité de l'entité évaluée.

1) Gaz-à-effet de serre pris en compte

Pour l'heure, toutes les méthodes standardisées ou officielles d'inventaire des émissions de gaz à effet de serre partagent quelques caractéristiques :

- Seuls sont comptabilisés les gaz émis, et non ceux qui apparaissent dans l'atmosphère à la suite de réactions chimiques ou photochimiques grâce à des émissions de précurseurs (cas de l'ozone troposphérique),
- Seuls sont comptabilisés les gaz émis dans la troposphère, et non ceux émis dans la stratosphère (cas d'une partie des émissions des avions en vol).

Les gaz à effet de serre qui correspondent à cette définition sont essentiellement ceux qui sont repris dans le cadre du protocole de Kyoto - initiative internationale phare en matière de réduction des gaz à effet de serre :

- Le gaz carbonique (CO₂) d'origine fossile, dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre du siècle,
- Le méthane (CH₄), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre de la décennie,
- Le protoxyde d'azote (N₂O), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre du siècle,
- Les hydrofluorocarbures (CnHmFp), dont la demi-vie dans l'atmosphère s'échelonne de quelques semaines à quelques siècles,
- Les per fluorocarbures (CnF2n+2), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de l'ordre de quelques siècles à plusieurs dizaines de millénaires,
- L'hexafluorure de soufre (SF₆), dont la demi-vie dans l'atmosphère est de quelques milliers d'années.

2) Principes de l'évaluation

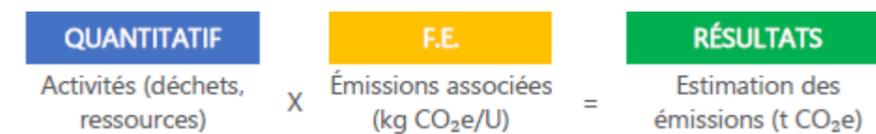
Afin d'assurer la crédibilité et la reproductibilité de l'évaluation carbone, plusieurs principes guident la réalisation du bilan :

- Exhaustivité : il inclut toutes les informations dimensionnantes concernant les activités entraînées par le projet sur l'ensemble de son cycle de vie.
- Pertinence : l'évaluation carbone est approfondie et des mesures de réduction sont proposées pour les activités responsables des émissions GES majorantes.

- Consistance : les calculs des émissions sont réalisés en utilisant les mêmes critères et hypothèses ce qui assure la comparabilité des résultats.
- Transparence : les données d'entrée (données d'activité du projet, facteurs d'émission) et hypothèses sont introduites et annexées dans le bilan GES et ses sources citées.
- Prudence : le calcul des émissions GES est prudent quant aux hypothèses et valeurs prises en compte dans l'évaluation en se basant sur les situations le plus vraisemblables.
- Précision : toute évaluation carbone est approximative c'est pourquoi elle inclut les incertitudes associées aux calculs des GES.

3) Principe de calcul

Le principe de calcul utilisé est basé sur une méthode d'estimation indirecte des GES engendrés par les activités évaluées (pas de mesure directe). En effet, les activités (quantifiées suivant l'unité choisie) combinées à leurs facteurs d'émission (kg CO₂e/unité) permettent d'estimer les GES émis. Le principe de calcul est montré dans la figure suivante :



4) Périmètre de l'évaluation

Pour périmètre temporelle plusieurs approches peuvent être utilisées. Le choix dépendra des données disponibles et de sa pertinence par rapport au projet :

- La période de concession ;
- Le périmètre temporel de l'évaluation socio-économique (qui en théorie s'étale jusqu'en 2140) ;
- La durée d'évaluation des études air et santé fixée à 20 ans (sans autre données il permet d'évaluer l'impact du projet des usagers sur cette période) ;
- La recommandation du CEREMA de 50 ans (mais qui peut entraîner des problèmes sur la projection des usages du projet).

Quant au périmètre spatial de l'évaluation, il est décomposé en deux. Le premier concerne le périmètre des travaux qui, dans le cadre de cette évaluation se limite aux emprises du projet ainsi que des ouvrages annexes. Les installations temporaires telles que les cantonnements, la base de vie et les dépôts doivent être aussi considérés dans ce périmètre.

Le second est défini par l'aire d'influence du projet sur les usagers. Il est à noter que le total des émissions véhiculaires n'est pas comptabilisé dans ce périmètre mais plutôt la différence entre les scénarii référence et projet. L'objectif est de prendre en compte l'impact du projet sur la circulation afin d'évaluer les effets sur la consommation énergétique. Cette distinction permet une approche cohérente vis-à-vis de l'esprit de la méthodologie Bilan Carbone®. Ainsi, ce périmètre s'apparente à celui d'une évaluation socio-économique et reprend souvent les emprises relevées par l'étude de trafic.

5) Les données d'activité

Les données d'activité comprennent l'ensemble des consommations de ressources telles que les matériaux, l'énergie, mais aussi la production de déchets. L'ensemble de ces flux est établi à partir des estimations, projections et relevés des activités menées dans le périmètre spatio-temporel défini pour l'évaluation environnementale de l'infrastructure.

Ces données sont issues des informations contenues dans les plans du projet, les détails quantitatifs estimatifs, la consommation énergétique des équipements ainsi que d'autres informations et hypothèses renseignées par les équipes de conception. Ainsi, chacun des travaux renseignés dans le DQE fait l'objet d'une décomposition permettant d'établir les inventaires de cycle de vie du projet (voir exemple dans le tableau suivant).

Afin de structurer l'évaluation, les ICV sont établis par élément fonctionnel. En effet, les éléments fonctionnels représentent les sous-ensembles qui constituent une infrastructure et qui assurent son fonctionnement. Par exemple, dans le cas d'un projet urbain, la signalisation des voiries est constituée de plusieurs éléments fonctionnels tels que le marquage au sol, la signalisation verticale statique et dynamique. Chacun de ces éléments fonctionnels requièrent des travaux pour être mis en place et entretenus ainsi que de l'énergie pour être exploités (p.ex. dans le cas de la signalisation dynamique ou la SLT).

Travaux préparatoires				
Dégagement d'emprises				
Démolition				
Inventaire E1	Inventaire E2	Inventaire E3	Quantité	UF.
Fret	Routier entrant	Ensemble articulé porte voitures, PTR40T	19 800	Tonne.km
Energie	Combustibles	Gasöil non routier	3 126	Litre
Fret	Routier sortant	Ensemble articulé benne TP, PTR40T	31 779	Tonne.km
Déchets	Déchets bâtiment	Déchets inertes en mélange	794	Tonne

Exemple simplifié d'un inventaire de cycle de vie pour des travaux de démolition

6) La base de données

Les facteurs d'émissions (FE) s'expriment en kgCO₂e par unité (e pour équivalent) et permettent de retranscrire l'impact carbone d'un matériau, d'une activité ou d'une consommation énergétique. Ils sont majoritairement issus de la base ADEME mais peuvent également être complétés par des bases externes lorsque les informations manquent (Base INIES, DIOGEN, Ecoinvent ou directement les FDES des fournisseurs). Le choix des FE utilisés a été hiérarchisé de la façon suivante selon les disponibilités :

- Base ADEME
- Base INIES
- FDES de fournisseurs et autres bases génériques (DIOGEN, CERIB, BETie, etc.)
- Ecoinvent
- Construction du FE en considérant le FE du matériaux principal (exemple : Pour une armoire électrique en acier, il sera considéré le poids de l'armoire auquel sera associé le FE de l'acier).

De même, certains facteurs d'émission sont construits à partir de l'outil Bilan Produit faisant partie de la Base Impacts® de l'ADEME. Cet outil sert à estimer les émissions engendrées par la production de certains équipements dont les processus de fabrication est plus important que celui du matériau principal. Tel est le cas des glissières métalliques et des panneaux de signalisation routière par exemple. Ces équipements comportent des traitements de surface non négligeables (respectivement galvanisation et thermolaquage).

Pour s'adapter aux avant-métrés des différents travaux, les FE sont convertis à l'unité du métier, appelée unité fonctionnelle. Par exemple : si un métier indique une quantité de béton en m³ alors que le FE est exprimé en kg CO₂e/tonne, le FE est alors converti en kg CO₂/m³ à partir de la masse volumique ~2,35 tonne/m³.

7) Incertitudes des données

Toutes les données sont assorties d'une incertitude représentant la variabilité des valeurs estimées. Elles sont déterminées en fonction :

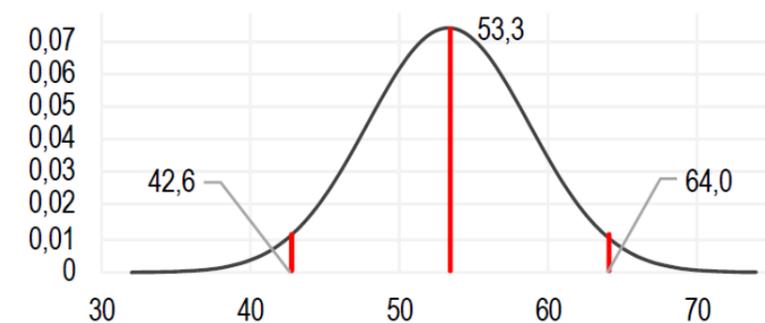
- D'hypothèses sur des données qui ne peuvent à cette phase être définies (origine des matériaux, lieux d'évacuation, études en cours d'élaboration...);
- Des évolutions probables du projet (déblais, remblais, structure de la voie...);
- De la difficulté à estimer une variable (consommation énergétique du chantier, distance parcourue par le personnel...);
- Des facteurs d'émissions associés à partir des indicateurs statistiques renseignés dans les bases de données.

Les incertitudes sont représentées par un pourcentage qui indique la variabilité associée à la valeur moyenne employée. Ce pourcentage est calculé à partir de l'intervalle de confiance à 95 % résultant de la distribution des valeurs recueillies. Ainsi, l'exemple présenté dans la figure suivante, montre la distribution des FE des enrobés bitume (en kg CO₂e/tonne) calculés par l'ADEME sur la base des données recueillies auprès des fabricants.

À partir de cette distribution, l'intervalle de confiance à 95 % (délimité en rouge) permet de calculer l'incertitude associée. Ainsi, le FE des enrobés bitume est de 53,3 kg CO₂e/tonne, avec une incertitude de 20 %. Cela indique que la valeur attendue se trouve entre 42,6 et 64 kg CO₂e/tonne, avec une haute probabilité qu'elle soit autour de 53,3 kg CO₂e/tonne.

Afin de donner un ordre de grandeur de la variabilité des émissions estimées, la superposition des incertitudes liées aux FE et aux données d'activité est faite en appliquant la méthode de calcul du Bilan Carbone®. Cette méthode permet d'estimer l'incertitude totale pour chaque émission calculée ainsi que d'agréger les données afin d'obtenir l'incertitude totale pour l'ensemble de l'évaluation.

FE enrobés bitume (ADEME)



Distribution de probabilité du facteur d'émission des enrobés bitume calculé par l'ADEME

8) Axes de l'évaluation

En plus de la méthode de calcul Bilan Carbone®, l'évaluation des GES suit une approche ascendante (bottom-up), inspirée de l'analyse du cycle de vie (ACV). En effet, il s'agit d'un exercice d'exhaustivité visant à modéliser de la façon la plus représentative possible l'ensemble de flux de matière et d'énergie induits par les activités qui prennent place dans le périmètre d'évaluation de l'infrastructure.

Les données d'activité permettent de modéliser les flux engendrés par chacun des éléments fonctionnels de l'infrastructure. Cette modélisation prend la forme d'un inventaire de cycle de vie qui récapitule l'ensemble des consommations et des sous-produits générés. Ces inventaires sont structurés suivant trois axes principaux : le cycle de vie de l'infrastructure, les éléments fonctionnels mis en service par les différents métiers et leur décomposition suivant les postes d'émission évalués.

Le cycle de vie des infrastructures

Dans le cas des infrastructures de transport, l'ensemble du cycle de vie est décomposé en 5 phases : construction, utilisation, maintenance, exploitation et fin de vie. Chacune d'entre elles regroupe les différentes phases du cycle de vie allant du A1 au C4 :

- Construction (A1-A5) : cela comprend le contenu carbone des intrants (A1-A3), l'acheminement au chantier (A4) et la mise en œuvre (A5). Les émissions liées aux travaux de démolition et dégagements des emprises existantes sont comprises dans la phase A5 car elles font partie des travaux nécessaires à la mise en œuvre des éléments du projet.
- Utilisation (B1) : cela inclut les émissions des usagers par type de véhicule (VL, PL) et par tranche de vitesse. L'évaluation de ces émissions peut être effectuée en appliquant les facteurs d'émission de combustion de COPERT IV ou les FE de la base ADEME.

- Maintenance (B2-B5) : cette évaluation suit la même logique travaux de la phase construction. Cette phase inclut les travaux de remplacement, de réparation et de réfection des emprises du projet selon la durée de vie (ou jouvence) définie pour chacun des éléments fonctionnels du projet. Par exemple, la période moyenne de renouvellement de la couche de roulement d'une chaussée est de 10 ans. En plus de travaux de mise en œuvre, les travaux de démolition de l'existant sont inclus dans cette phase.
- Exploitation (B6) : les émissions liées aux consommations énergétiques des équipements d'exploitation (éclairage, signalisation, péages) ainsi qu'aux déplacements du personnel de service sont incluses dans cette phase.
- Fin de vie (C1-C4) : en pratique, les projets d'infrastructure n'ont pas pour objet à être démantelés, la fin de vie est souvent exclue du périmètre. Néanmoins, ces travaux sont abordés comme les travaux préalables en phase construction : démantèlement, démolition, dépose et la remise en état des anciennes emprises de l'infrastructure.

Les corps de métier

Afin de faciliter l'évaluation de l'empreinte carbone, la préconisation des mesures de réduction et le suivi des émissions GES du projet étudié, l'évaluation carbone est aussi structurée autour de la nature des travaux réalisés par corps de métier.

En effet, chaque corps de métier assure la mise en œuvre des éléments constituant l'infrastructure. Par exemple, la signalisation routière est constituée de plusieurs éléments tels que le marquage au sol, les panneaux de signalisation statique et dynamique. Chacun de ces éléments requiert des travaux pour être mis en place et entretenus ainsi que de l'énergie pour être exploités (électricité dans le cas de la SLT et les PMV par exemple).

De plus, chaque élément a une durée de vie déterminée après laquelle il doit être rénové ou refait. Ainsi, à chaque élément fonctionnel lui est associée une jouvence, c'est-à-dire, un chiffre correspondant au nombre de fois que cet élément est remplacé dans la période étudiée. Par exemple, pour le marquage au sol dont la durée de vie est de 10 ans et pour une période d'évaluation de 30 ans, la jouvence attribuée est de 3.

Chaque élément est caractérisé par une unité fonctionnelle définie suivant la fonction d'usage accomplie par l'élément en question. Par exemple, dans le cas d'une glissière, l'unité fonctionnelle retenue est le ml.

Postes d'émissions GES et méthodologie de calcul

Les émissions totales produites par un projet d'infrastructure sont décomposées en différents postes. Les postes d'émissions représentent les flux principaux engendrés par le projet évalué. Brièvement, les postes d'émission principaux retenus dans la méthodologie d'évaluation sont :

- Les intrants, matériaux, dispositifs et appareils intégrés aux éléments fonctionnels de l'infrastructure ;
- L'énergie, d'une part celle utilisée lors des travaux de construction et maintenance et d'autre celle consommée par l'exploitation et l'utilisation de l'infrastructure ;
- Les déchets, engendrés par les travaux préparatoires (démolition, dégagement des emprises et terrassement), les travaux de mise en œuvre (chutes et emballages) et les installations de chantier (base de vie) ;
- Le fret, pour le transport dans les emprises du projet (interne), l'amené des intrants et des engins (entrant) et l'évacuation des déchets (sortant) ;
- Les déplacements, correspondant aux trajets effectués par les employés lors des travaux et pour le fonctionnement de l'infrastructure ;
- Les immobilisations, correspondant à l'amortissement du matériel utilisé pendant les travaux tels que les engins de chantier ou les installations provisoires (base de vie) ;

Émissions des travaux

Pour le calcul des émissions des travaux, les données d'entrée (plan, quantitatifs, estimatifs) doivent permettre de répertorier l'ensemble des éléments fonctionnels à réaliser dans le cadre de la construction de l'infrastructure. Par exemple, dans le cas d'une route, les éléments fonctionnels principaux sont : les couches de fondations, les couches de roulement, les réseaux d'assainissement, la signalisation horizontal et vertical, etc.

Lorsque les éléments fonctionnels ont été identifiés, les inventaires de cycle de vie pour chacun sont établis. Ces inventaires prennent en compte les flux induits par les travaux de construction et de maintenance suivant les six postes d'émission présentés. La méthodologie générale d'évaluation de ces postes est présentée dans les sous-sections suivantes.

Intrants

Les émissions GES des intrants correspondent à leur contenu carbone, c'est-à-dire, la quantité de GES émise lors de l'extraction des matières premières, leur transport à l'usine et le processus de fabrication (phases A1-A3 du cycle de vie).

Ces émissions ne sont pas calculées dans le cadre de l'évaluation carbone des infrastructures. Elles sont obtenues soit à partir des FE communiqués par les fabricants, soit à partir des FE compilés dans les bases de données carbone (ADEME, INIES, Ecoinvent®).

Les quantités d'intrants sont directement obtenues des métrés et des détails estimatifs des travaux. D'autres fournitures associées sont aussi intégrées dans l'évaluation lorsqu'elles sont pertinentes sur le plan carbone. Par exemple, pour la réalisation des chaussées en enrobé bitumineux, la couche d'imprégnation doit être aussi prise en compte.

Énergie

Quantifier les émissions issues de l'exécution des travaux requièrent la définition des engins qui constituent les ateliers de construction. Ainsi, leur consommation de carburant doit être estimée avant le calcul des émissions GES. Dans le cas où la consommation de carburant n'est pas connue par les équipes de travaux, la méthodologie EMEP - CORINAIR de l'European Environment Agency (EEA) peut être appliquée. Le document méthodologique concerné est : « *air pollutant emission inventory guidebook 2016 - 1.A.4 - Non-road mobile sources and machinery* ».

L'approche Tier 3 de la méthode permet de déterminer la consommation horaire de carburant en fonction de la puissance des engins de chantier. Par exemple, pour des travaux de terrassement, un bulldozer de 131 kW est utilisé pendant 10 jours, 8 heures par jour. Le facteur de consommation (FC) est de 250 g/kWh. En partant d'une hypothèse d'utilisation de 75 %, la puissance moyenne en utilisation de l'engin est de $131 \times 0,75$ soit 98,25 kW. Il fonctionne pendant 80 heures soit une consommation de 1,97 tonnes de carburant ($98,25 \times 80 \times 250 \times 10^{-6}$). Avec une masse volumique de 860 kg/m³, 22 800 litres de diesel ont été consommés. Ensuite, l'ADEME indique un FE de 3,17 kgCO₂e par litre de gazole consommé. Ainsi, le total émis par le bulldozer est de 72,3 tCO₂e.

Puissance maximale (kW)	0-19	20-36	37-55	56-74	75-129	130-559	>560
Consommation diesel (g/kWh)	270	262	260	260	255	255	250

Consommation de carburant par puissance d'engin de type Stage V (source : EMEP – EEA)

Cylindre 2T (cm ³)	Consommation essence (g/kWh)
20-65	500
>65	652

Consommation de carburant par cylindre 2T essence de type Stage V (source : EMEP – EEA)

Fret

Afin de distinguer l'impact du fret des intrants et des déchets évacués, le fret est divisé entre le fret entrant, sortant et interne. L'approche retenue pour l'estimation du fret est celle du volume transportée en tonne.km. Cette approche est mieux adaptée pour le fret lourd car au contraire de l'approche déplacement (en véh.km), elle ne nécessite pas d'hypothèse de foisonnement. Les distances d'approvisionnement doivent être détaillées pour chacun des engins, matériels, matériaux et déchets concernés. Les distances sont essentiellement choisies en fonction de :

- La disponibilité de la ressource, plus elle est disponible plus elle est considérée comme proche ;
- La distance vers les sites d'approvisionnement (matériaux) et d'évacuation (déchets).

Lorsqu'il s'agit d'une évaluation GES en phase de conception en amont, des hypothèses récurrentes des distances de transport sont à établir, parmi elles on retrouve :

- La distance d'évacuation des déchets par défaut ;
- La distance au stockage temporaire (concernant les mouvements de terre).

Inventaire E1	Inventaire E2	Distance (km)
Intrants	Acier	100 ; 300 ; 500
	Aluminium	300
	Asphalte	100
	Autres métaux	500
	Bois	200
	Béton hydraulique	50
	Béton préfabriqué	100
	Céramique/terre cuite	300
	Enduits/revêtements résine	1000
	Enrobés bitume	100
	Graviers/granulats	50 ; 200
	Liant hydraulique	100
	Matériel électronique	500 ; 1000
	Plastiques / Polymères	300
	Ratios	1200
	Verre	500
	Végétation	50
	Immobilisations	Bâtiments / EP
Véhicules, machines et outils		200
Déchets	Déchets bâtiments	5 ; 40
	Déchets dangereux	100
	Déchets plastiques	40
	Ordures ménagères	40 ; 200

Hypothèses pour les distance de fret d'évacuation/approvisionnement

Dans le cas du transport routier, les engins retenus pour le calcul des émissions GES varient en fonction des objets transportés. La liste des engins utilisés pour l'évaluation GES et ses facteurs d'émission est détaillée dans le tableau suivant.

Quant aux autres modes de transport, en particulier du fret ferroviaire et fluvial, des études logistiques spécifiques sont nécessaires. En effet, ces modes de transport requièrent une analyse préalable concernant l'existence des infrastructures ainsi que des pôles d'échange nécessaires aux derniers kilomètres parcourus.

Engins de transport	Total GES (kg CO ₂ e/t.km)
Ens. art. PTR A 40T, benne TP [1]	0,117
Ens. art. PTR A 40T, marchandises diverses, longue distance [1]	0,096
Ens. art. PTR A 40T, citerne [1]	0,098
Ens. art. PTR A 40T, porte voitures [1]	0,220
Toupié béton 8 m ³	0,070

Emissions GES (kg CO₂e/t.km) par engin de transport (source : base ADEME)

Déchets

La production de déchets lors de phases de construction et de maintenance est gérée suivant deux schémas. Le premier concerne les déchets générés par les travaux de démolition et de dégagement des emprises (débroussaillage, déboisement, etc.). Ces déchets sont considérés comme étant directement évacués et ainsi comptabilisés dans les métiers qui les produisent. Par exemple, la démolition d'une couche de roulement est comptabilisée dans le métier « chaussées ».

Le deuxième concerne les déchets engendrés par les intrants : les emballages, les chutes et les pertes qui sont imputés aux installations temporaires (benne déchets en base vie). Les quantités de déchets sont estimées à partir d'un pourcentage de la masse de l'unité fonctionnelle concernée. En prenant comme exemple une tonne de béton préfabriquée, les déchets générés sont : 56 kg de béton hydraulique (liés à la mise en œuvre) et 50 kg d'emballages (bois, carton et film plastique). Ces pourcentages pris en compte sont issus des FDES de l'INIES et des données métiers. Un extrait de ces pourcentages est présenté dans le tableau suivant. Les emballages et chutes ainsi que les déchets ménagers et les eaux usées sont attribués au chantier et la base vie.

Matériaux	Métaux	Déchets non dangereux	Déchets inertes	Bois B	Plastique moyen
Acier	0,025	0	0	0,004	0,003
Aluminium	0,025	0	0	0,004	0,003
Asphalte	0	0,015	0	0,0375	0,0125
Béton hydraulique	0	0	0,003	0	0
Béton préfabriqué	0	0	0,056	0,0375	0,0125
Bois	0	0	0	0,0375	0,0125
Enduits résine	0	0	0	0,0375	0,0125
Enrobés bitume	0	0,015	0	0	0
Liants hydrauliques	0	0	0	0,0375	0,0125
Matériel électronique	0	0	0	0,0375	0,0125
Plastiques / Polymères	0	0	0	0,0375	0,0125
Végétation	0	0	0	0	0,01

Matrice de production des déchets issus des fournitures (chutes et emballages)

Déplacements

Pour le déplacement du personnel il n'a été considéré que des trajets routiers dans le cas des projets d'infrastructure. Les distances domicile-travail tout comme la répartition modale des trajets peuvent être prises des enquêtes ménages déplacements de la zone du projet. S'il s'agit d'une zone périurbaine rurale, peu desservi par des lignes de transports en commun réguliers, la part modale peut être assimilée intégralement à des déplacements en voiture particulière.

Le nombre de déplacements domicile/travail est estimé par phase de vie du projet. Ce nombre est donné par la durée des travaux et les cadences de production (phase construction et maintenance), ainsi que par le personnel d'exploitation prévisionnel. Les FE retenus sont ceux de l'ADEME. Par exemple, les trajets en voiture particulière en périphérie urbaine émettent 0,3254 kg CO₂e/véh.km.

En phase d'exploitation, le nombre de employés nécessaires à l'opération des installations est obtenu à partir du retour d'expérience de la société en charge. À partir de ce nombre et des horaires de présence prévisionnels, le nombre de déplacements (en passagers.km) est déterminée sur la période d'évaluation concernée.

Immobilisations

Les immobilisations correspondent à l'ensemble des moyens matériels et aux installations temporaires qui sont nécessaires à la réalisation du projet. Dans les immobilisations du projet sont considérés les engins de chantier et d'entretien ainsi que la base vie et les cantonnements du chantier. Afin de tenir compte de l'empreinte carbone générée par leur fabrication, le total des émissions est amorti sur la durée d'utilisation dans le cadre du projet.

Les facteurs d'émission utilisés sont calculés sur la base de données de l'ADEME. Ainsi, on retient le FE des machines (3 670 kgCO₂e/t) pour les engins de chantier et d'entretien, et le FE des bureaux en métal (158 kgCO₂e/m²) pour les cantonnements et la base vie.

Pour pouvoir adapter ces FE à l'utilisation réelle des engins, ils ont été convertis en kgCO₂e/(tonne.jour) en considérant une durée de vie de 20 ans pour les engins et une utilisation annuelle de 251 jours (équivalent jours ouvrés). Le FE initial est donc divisé par 5020 (20*251) ce qui correspond à 0,73 kgCO₂e/(tonne.jour). De la même façon, on obtient le FE des cantonnements qui correspond à 0,032 kgCO₂e/(t.m²).

9) Émissions hors travaux

Études de conception et contrôle technique

La quantification des émissions liées aux études de conception et aux contrôles techniques est faite sur une approche macroéconomique. L'ADEME définit des ratios monétaires pour différents secteurs d'activités en tenant compte des émissions consignées dans les Bilan Carbone® des entreprises. Ainsi, en phase conception un ratio monétaire est appliqué aux montant des études : 110 kgCO₂e/k€ (ratio monétaire pour une activité de conseil). Quant aux contrôles techniques, le ratio appliqué est de 170 kgCO₂e/k€ (ratio monétaire pour une activité de service d'architecture et d'ingénierie).

Changement d'affectation du sol

Une modification dans l'affectation du sol engendre l'émission de GES ainsi qu'un changement dans les capacités de captation de carbone. Pour tenir compte de cet impact, l'ADEME propose une méthode d'évaluation sur la base des dynamiques de stockage carbone en fonction du type de sol étudié (base de données ALDO).

Consommation d'énergie des équipements

Mis à part la consommation de carburant des engins de chantier, d'autres postes de consommation directe d'énergie sont identifiés dans le cycle de vie du projet. En particulier, la consommation des équipements techniques d'exploitation de l'infrastructure ne doit être pas négligée. Les consommations d'énergie de ces derniers sont estimées à partir du bilan puissance réalisé pour le dimensionnement des installations.

À la puissance nécessaire, un temps d'utilisation annuel est attribué à chacun des équipements en fonction de leur usage (en supplément des coefficients de simultanéité et d'utilisation). Le produit de ces données permet de calculer l'électricité consommée en kWh. D'autres consommations, telles que le chauffage ou l'ECS sont aussi à intégrer. Ainsi, toute consommation d'énergie (gaz, bois, essence) doit être identifiée. Les FE utilisés sont ceux de l'ADEME qui répertorie l'intégralité des sources d'énergie en France et propose différentes unités de mesure (tep, GJ, kWh, kWh PCI, kWh PCS, etc.)

Les émissions véhiculaires

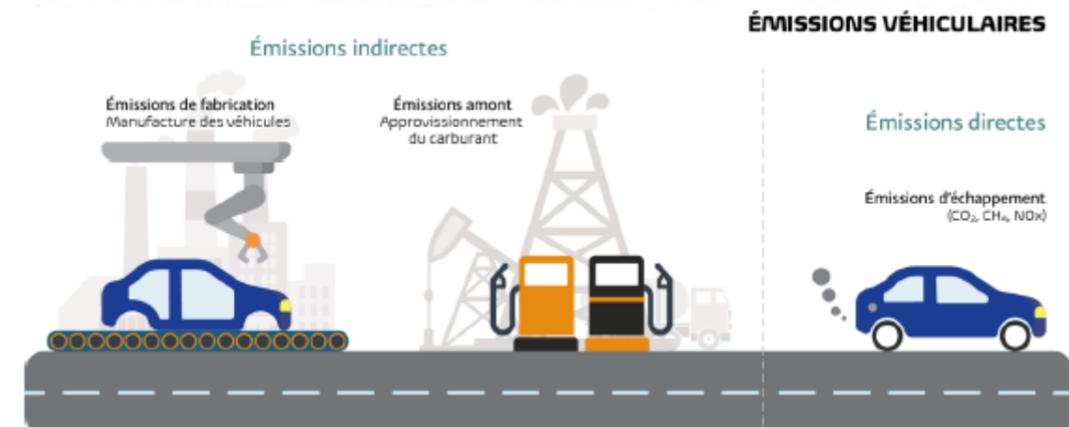
La méthodologie d'évaluation de l'empreinte carbone des projets d'infrastructure prend en compte les émissions produites par le projet suivant toutes ses phases de vie. À la différence des autres phases, la phase d'utilisation est particulière vis-à-vis du périmètre d'évaluation car l'impact induit par l'infrastructure ne se limite pas aux emprises du projet mais se répercute aussi sur d'autres axes routiers adjacents.

Le but de la méthode étant aussi d'évaluer les émissions GES induites par le projet d'infrastructure, l'impact en phase d'utilisation est estimé à partir de la variation des déplacements projetés des usagers par rapport à une situation de référence (qui résulte des modifications apportées par le projet sur le réseau de transport). Les impacts des projets d'infrastructure sur les réseaux de transport pris en compte pour l'évaluation GES sont : la diminution des distances parcourues, la modification des vitesses de circulation et la réduction des phénomènes de congestion.

Ainsi, la méthode d'évaluation de l'empreinte carbone en phase d'utilisation consiste d'abord à estimer les émissions GES des véhicules au sein du périmètre impacté par le projet suivant les scénarii référence (fil de l'eau) et projet. Ces scénarii sont construits à partir des résultats obtenus lors de la modélisation du réseau de transport et qui permettent de quantifier les impacts dans la circulation cités dans le paragraphe précédent.

Dans la comptabilité carbone, les émissions GES des véhicules sont de deux types : émissions directes et indirectes. Les émissions directes correspondent aux GES produits par la combustion des carburants consommés par les moteurs des véhicules et qui prennent place dans le périmètre d'évaluation. Les émissions indirectes correspondent aux GES émis en dehors du périmètre d'évaluation issus de la fabrication des véhicules et de la production et distribution des carburants consommés. Le schéma montré dans la Figure 10 représente les différentes émissions GES.

Deux approches sont utilisées afin d'estimer les émissions GES des véhicules. La première est basée sur la méthode COPERT V. Elle permet le calcul des émissions directes à partir des facteurs de consommation (FC) de carburant (en g/véh.km) d'un parc véhiculaire moyen constitué de VL et PL. Il est à noter que les FC sont calculés par vitesse de circulation. Sur la base des consommations véhiculaires calculées pour l'ensemble des brins au sein du périmètre défini, seuls les FE des GES calculés par la méthode COPERT V sont retenus (kg CO₂e/véh.km).



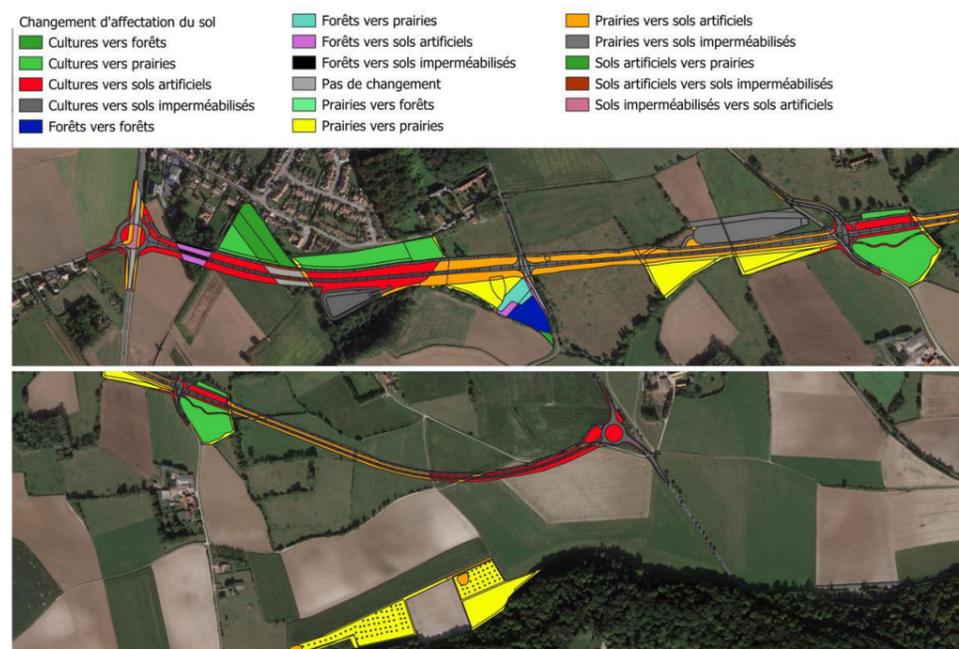
La seconde approche consiste à utiliser la méthode développée par l'ADEME qui sert à calculer les émissions liées aux déplacements routiers. Cette méthode utilise des FE moyens qui prennent en compte les émissions liées à la fabrication des véhicules, l'approvisionnement de carburant et la combustion constatés en France. Puisque l'approche par la méthode COPERT V permet un calcul plus précis des émissions directes, seuls les FE de l'ADEME concernant les émissions indirectes sont utilisés pour compléter l'estimation de l'ensemble des émissions véhiculaires de GES.

Annexe 6 : Note de calcul UTF

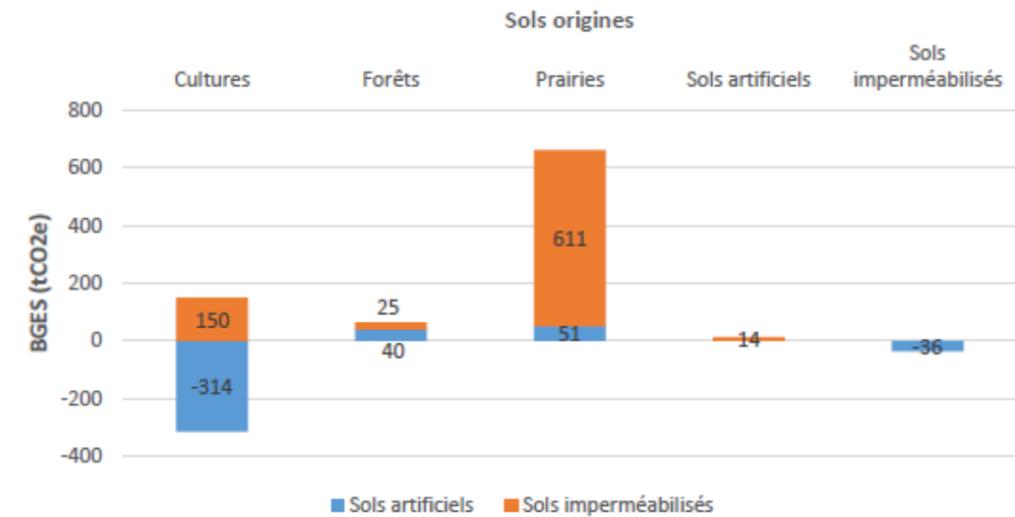
La méthodologie de calcul du bilan carbone des utilisations des terres, leur changement et la forêt (UTCFC) est présentée dans l'annexe, section 5.1.10.2. Le tableau ci-dessous montre les différents changements d'affectation du sol qui ont eu lieu dans les emprises du projet, la surface totale de chaque changement, ainsi que les émissions engendrées. Il faut noter que les valeurs négatives correspondent à la séquestration carbone des sols modifiés.

Changement d'affectation	Surface (m2)	F.E. (tCO2e/ha)	BGES (tCO2e)
Cultures vers Forêt moyenne	264	-442	-11,66
Cultures vers Prairies zones arborées	2 078	-278	-57,80
Cultures vers Prairies zones arbustives	53 240	-128	-680,35
Cultures vers Sols artificiels enherbés et arbustifs	24 536	-128	-313,54
Cultures vers Sols artificiels imperméabilisés	19 767	76	150,37
Forêt moyenne vers Prairies zones arborées	1 362	164	22,35
Forêt moyenne vers Sols artificiels enherbés et arbustifs	513	314	16,12
Forêt moyenne vers Sols artificiels imperméabilisés	2	518	0,12
Forêt peupleraie vers Forêt moyenne	2 807	-138	-38,67
Forêt peupleraie vers Prairies zones arborées	224	26	0,59
Forêt peupleraie vers Sols artificiels enherbés et arbustifs	1 326	177	23,42
Forêt peupleraie vers Sols artificiels imperméabilisés	647	381	24,61
Prairies zones arborées vers Sols artificiels enherbés et arbustifs	4 588	150	68,97
Prairies zones arborées vers Sols artificiels imperméabilisés	2 092	354	74,11
Prairies zones arbustives vers Forêt moyenne	2 756	-314	-86,66
Prairies zones arbustives vers Prairies zones arborées	2 864	-150	-43,06
Prairies zones arbustives vers Sols artificiels imperméabilisés	19 623	204	400,05
Prairies zones herbacées vers Forêt moyenne	710	-340	-24,16
Prairies zones herbacées vers Prairies zones arborées	722	-176	-12,70
Prairies zones herbacées vers Prairies zones arbustives	4 260	-26	-10,94
Prairies zones herbacées vers Sols artificiels enherbés et arbustifs	6 820	-26	-17,50
Prairies zones herbacées vers Sols artificiels imperméabilisés	7 677	178	136,81
Sols artificiels enherbés et arbustifs vers Prairies zones arborées	3 017	-150	-45,36
Sols artificiels enherbés et arbustifs vers Sols artificiels imperméabilisés	675	204	13,76
Sols artificiels imperméabilisés vers Sols artificiels enherbés et arbustifs	1 762	-204	-35,91

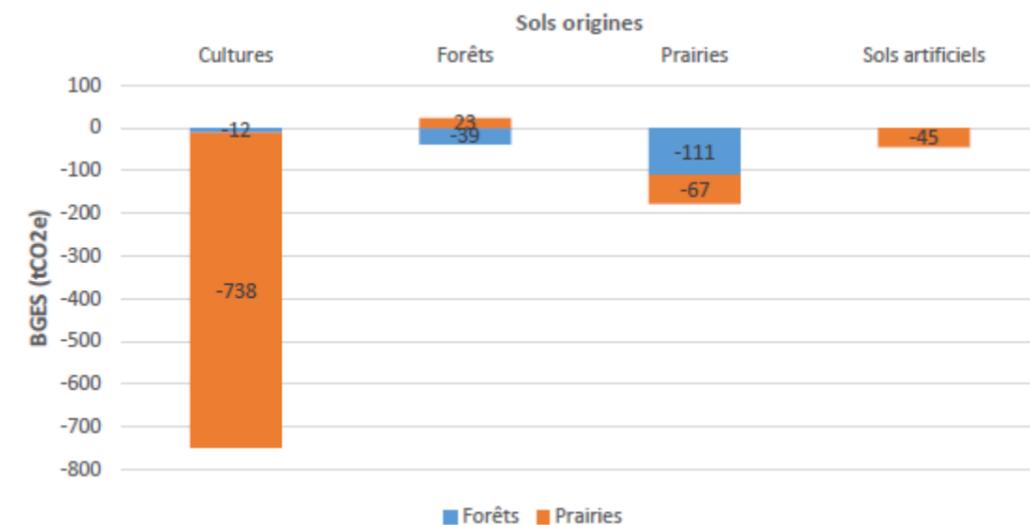
La figure suivante montre la cartographie des changements d'affectation du sol sur l'emprise du projet. Il faut noter que dans les figures, les changements prairie vers prairie ou forêt vers forêt correspondent à des changements vers de différents types de prairie/forêt, e.g. "Forêt peupleraie vers Forêt moyenne".



Pour distinguer entre les changements d'affectations du sol engendrés par les travaux liés à la réalisation du contournement et celles liées aux mesures compensatoires, des bilans de GES séparés sont présentés dans les deux figures suivantes. Le bilan de émissions GES UTF hors mesures compensatoires est de 541 tCO₂e, alors que celui des mesures compensatoires est de -988 tCO₂e.



BGES des changements d'affectation du sol hors mesures compensatoires



BGES des changements d'affectation du sol des mesures compensatoires