

# AMENAGEMENT D'UN ENSEMBLE IMMOBILIER RUE PIERRE SEMARD – VILLIERS-LE-BEL [95]



## VOLET AIR & SANTÉ ANALYSE DES IMPACTS

Réf N : 180 504 060

V1

06 juillet 2018

**TechniSim**  
Consultants

**ICADE**

Immeuble OPEN

27 Rue Camille-Desmoulins – CS 10166

92445 Issy-les-Moulineaux Cedex

Tél. : 06 28 90 74 89

**URBACONSEIL**

127-129 Rue Raymond Losserand

75014 Paris

Tél. : 01 45 43 43 30

**Aménagement d'un ensemble immobilier  
Rue Pierre Semard – Villiers-le-Bel [95]**

**Volet Air & Santé  
Analyse des impacts**

**TECHNISIM CONSULTANTS**

2 rue Saint Théodore

69003 LYON

Tél. : 04 72 33 91 67

TechniSim@wanadoo.fr

## SOMMAIRE

<b>1. Contexte général</b> .....	<b>5</b>	<b>8.1. Coûts liés aux émissions de polluants atmosphériques</b> .....	<b>43</b>
<b>2. Volet Air et Santé</b> .....	<b>5</b>	<b>8.2. Coûts liés aux émissions de gaz à effet de serre</b> .....	<b>44</b>
<b>2.1. Définition du domaine d'étude et de la bande d'étude</b> .....	<b>5</b>	<b>9. Analyse qualitative des mesures de réduction de la pollution atmosphérique de proximité</b> .....	<b>45</b>
<b>2.2. Définition du niveau de l'étude</b> .....	<b>6</b>	<b>10. Articulation avec les plans et schémas d'Ile-de-France</b> .....	<b>45</b>
<b>3. Identification des Sites sensibles</b> .....	<b>7</b>	<b>10.1. Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE)</b> .....	<b>45</b>
<b>4. Impacts du projet sur la qualité de l'air en phase chantier</b> .....	<b>8</b>	<b>11. Synthèse du volet air et santé</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1. Quantification des émissions liées aux activités du chantier</b> .....	<b>8</b>	<b>Glossaire</b> .....	<b>47</b>
<b>4.2. Mesures de réduction des émissions liées aux activités du chantier</b> .....	<b>8</b>	<b>Annexes</b> .....	<b>48</b>
<b>5. Impact du projet sur la qualité de l'air en phase exploitation</b> .....	<b>10</b>	<b>Annexe n°1 : Effets sanitaires redoutés</b> .....	<b>49</b>
<b>5.1. Flux de trafic</b> .....	<b>10</b>	<b>Annexe n°2 : Analyse qualitative des mesures de réduction de la pollution atmosphérique de proximité</b> .....	<b>53</b>
5.1.1. Brins routiers étudiés .....	10		
5.1.2. Indicateur VK .....	13		
<b>5.2. Émissions atmosphériques</b> .....	<b>13</b>		
5.2.1. Méthodologie .....	13		
5.2.2. Résultats du calcul des émissions de polluants atmosphériques .....	14		
5.2.3. Résultats du calcul des émissions de gaz à effet de serre .....	16		
<b>5.3. Simulation numérique de la dispersion atmosphérique</b> .....	<b>17</b>		
5.3.1. Méthodologie.....	17		
5.3.2. Résultats de la dispersion atmosphérique .....	18		
5.3.3. Résultats des substances réglementées .....	18		
<b>5.4. Conclusion de l'impact du projet sur la qualité de l'air</b> .....	<b>24</b>		
<b>6. Effets de la pollution atmosphérique sur la santé</b> .....	<b>24</b>		
<b>6.1. Effets généraux</b> .....	<b>24</b>		
<b>6.2. Indice Pollution Population [IPP]</b> .....	<b>27</b>		
6.2.1. Méthodologie.....	27		
6.2.2. Résultats.....	27		
<b>6.3. Évaluation quantitative des risques sanitaires [EQRS]</b> .....	<b>28</b>		
6.3.1. Hypothèses de travail retenues .....	28		
6.3.2. Contenu et démarche de l'EQRS.....	28		
6.3.3. Évaluation de l'indicateur sanitaire pour les effets à seuil : Quotient de danger.....	36		
6.3.4. Évaluation de l'indicateur sanitaire pour les effets sans seuil : calcul de l'excès de risque individuel (ERI) .....	40		
6.3.5. Incertitudes relatives à l'EQRS .....	41		
6.3.6. Synthèse de l'EQRS.....	42		
<b>6.4. Synthèse – Impacts sur projet sur la santé</b> .....	<b>42</b>		
<b>7. Evaluation des consommations énergétiques</b> .....	<b>42</b>		
<b>8. Coûts collectifs de l'impact sanitaire</b> .....	<b>43</b>		

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bande d'étude (150 m) définie pour le volet air et santé .....	6
Figure 2 : Nombre d'habitants dans la bande d'étude.....	7
Figure 3 : Localisation des sites sensibles.....	8
Figure 4 : Tronçons routiers étudiés .....	11
Figure 5 : Flux de trafic (TMJA) : Indice VK.....	13
Figure 6 : Émissions journalières – Oxydes d'azote .....	15
Figure 7 : Émissions journalières – Particules PM10.....	15
Figure 8 : Émissions journalières – Particules PM2,5.....	15
Figure 9 : Émissions journalières – Benzène .....	15
Figure 10 : Evolution des émissions de GES (échelle logarithmique).....	16
Figure 11 : Modélisation gaussienne d'un panache.....	17
Figure 12 : Rose des vents utilisée pour les simulations.....	17
Figure 13 : Horizon 2018 Actuel – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en $\text{NO}_2$ .....	20
Figure 14 : Horizon 2022 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en $\text{NO}_2$ .....	21
Figure 15 : Horizon 2022 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en $\text{NO}_2$ .....	21
Figure 16 : Horizon 2018 Actuel – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10.....	23
Figure 17 : Horizon 2022 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10.....	23
Figure 18 : Horizon 2022 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10.....	23
Figure 19 : Schéma conceptuel de la construction de l'IPP .....	27
Figure 20 : Indice pollution population – Dioxyde d'azote et benzène .....	27
Figure 21 : Schéma conceptuel de la démarche d'une ERS .....	28
Figure 22 : Logigramme – Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence .....	30
Figure 23 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Jeune enfant en crèche ».....	38
Figure 24 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Ecolier en école maternelle ».....	38
Figure 25 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Ecolier en « école élémentaire ».....	38
Figure 26 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Collégien ».....	38
Figure 27 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Sportif ».....	39
Figure 28 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Hospitalisé ».....	39
Figure 29 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Retraité ».....	39
Figure 30 : Excès de risques individuel – Scénario « Résident ».....	40
Figure 31 : Consommation moyenne de carburant par jour.....	43
Figure 32 : Coût annuel de la pollution atmosphérique.....	44
Figure 33 : Coût annuel des émissions de GES.....	44
Figure 34 : Écoulement en présence d'un obstacle isolé [Turbelin, 2000] .....	53
Figure 35 : Écoulement au-dessus d'une colline [Turbelin, 2000] .....	54
Figure 36 : Exemple allemand de la concentration relative en monoxyde d'azote pour diverses positions de la route en fonction de la vitesse de vent (vent favorable) .....	54
Figure 37 : Efficacité de différents types de murs antibruit.....	55

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Largeur minimale de la bande d'étude selon la charge de trafic.....	5
Tableau 2 : Type d'étude en fonction de la charge prévisionnelle de trafic et de la densité du bâti .....	6
Tableau 3 : Liste des sites sensibles.....	7
Tableau 4 : Caractéristiques et données trafic des brins étudiés.....	12
Tableau 5 : Emissions globales pour les scénarios traités .....	14
Tableau 6 : Quantité de GES produite en $\text{kgeqCO}_2$ / jour.....	16
Tableau 7 : Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maximales relevées dans la bande d'étude pour les composés faisant l'objet d'une réglementation.....	18
Tableau 8 : Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maximales relevées dans la bande d'étude pour les composés cités dans la circulaire du 25 février 2005 mais ne faisant pas l'objet d'une réglementation. ....	18
Tableau 9 : Résultats des modélisations pour le dioxyde d'azote – moyenne annuelle.....	19
Tableau 10 : Résultats des modélisations pour le dioxyde d'azote – moyenne horaire.....	20
Tableau 11 : Résultats des modélisations pour les particules PM10 – moyenne annuelle.....	21
Tableau 12 : Résultats des modélisations pour les particules PM10 – moyenne journalière.....	22
Tableau 13 : Résultats des modélisations pour les particules PM2,5 – moyenne annuelle.....	22
Tableau 14 : Tableau récapitulatif des normes de la qualité de l'air mentionnées dans la réglementation française.....	24
Tableau 15 : Indice Pollution Population .....	27
Tableau 16 : Valeurs toxicologiques de référence des substances considérées pour l'étude pour les effets à seuil.....	31
Tableau 17 : Valeurs toxicologiques de référence des substances considérées pour l'étude pour les effets sans seuil.....	32
Tableau 18 : Scénario d'exposition « Jeune enfant » .....	34
Tableau 19 : Scénario d'exposition « Élève d'école maternelle » .....	34
Tableau 20 : Scénario d'exposition « Élève d'école élémentaire » .....	34
Tableau 21 : Scénario d'exposition « Collégien » .....	34
Tableau 22 : Scénario d'exposition « Sportif » et paramètres considérés .....	35
Tableau 23 : Scénario d'exposition « Retraité » .....	35
Tableau 24 : Scénario d'exposition « Hospitalisé » .....	35
Tableau 25 : Scénario d'exposition « Résident » .....	35
Tableau 26 : Quotients de danger .....	37
Tableau 27 : Excès de risque individuel – Scénario « Résident ».....	40
Tableau 28 : Consommation de carburant [ $\text{kg} / \text{jour}$ ] .....	42
Tableau 29 : Coûts unitaires de la pollution atmosphérique générée par le transport routier en 2010 (en $\text{€}_{2010} / 100 \text{ véhicules} \times \text{km}$ ) .....	43
Tableau 30 : Estimation des coûts de la pollution atmosphérique générée par le transport routier .....	43
Tableau 31 : Estimation des coûts des GES générés par le transport routier .....	44
Tableau 32 : Effets sanitaires redoutés avec seuil – Voie inhalation.....	49
Tableau 33 : Effets sanitaires redoutés sans seuil – Voie inhalation.....	50

## 1. CONTEXTE GÉNÉRAL

Cette étude Air et Santé s'inscrit dans le cadre du projet d'aménagement d'un ensemble immobilier rue Pierre Semard, à Villiers-le-Bel, dans le département du Val-d'Oise [95].

La réalisation dudit projet va entraîner des modifications de trafic dont les conséquences sur la qualité de l'air et la santé doivent être analysées, notamment au niveau des zones dites « sensibles » (écoles, crèches, maisons de retraite, terrains de sport en extérieur, ...).

Les scénarios et horizons retenus dans l'analyse des impacts afférents au projet sont les suivants :

- L'horizon actuel [année 2018]
- Le scénario à l'horizon futur correspondant à l'année de mise en service [année 2022] sans le projet (scénario dit « au fil de l'eau ») ;
- Le scénario futur correspondant à l'année de mise en service [année 2022] avec le projet.

## 2. VOLET AIR ET SANTE

Est qualifiée de « pollution de l'air », toute modification de l'atmosphère due à l'introduction de substances dangereuses pour la santé humaine, l'environnement ou le patrimoine.

Ces dernières résultent à la fois de phénomènes naturels et d'activités anthropiques (humaines) diverses.

Le volet « Air et Santé » vise à :

- Déterminer l'impact du projet sur la pollution de l'air et sur la santé des populations ;
- Evaluer les risques sanitaires individuels et collectifs auxquels sont soumises les personnes et populations vivant dans le domaine et les bandes géographiques d'étude, cela afin de proposer d'éventuelles mesures de lutte contre la pollution atmosphérique et informer les populations concernées aux divers horizons d'étude considérés.

Ce volet est réalisé selon les préconisations de la *Circulaire interministérielle DGS/SD 7B n°2005-273 du 25 février 2005*.

## 2.1. DÉFINITION DU DOMAINE D'ÉTUDE ET DE LA BANDE D'ÉTUDE

### ❖ Domaine d'étude

Selon la circulaire interministérielle *DGS/SD 7 B n° 2005-273 du 25 février 2005*, le domaine d'étude est composé du projet et de l'ensemble du réseau routier subissant une modification (augmentation ou réduction) des flux de trafic de plus de 10 % du fait de la réalisation du projet. D'autres brins ont également été considérés afin d'assurer la continuité du domaine d'étude.

### ❖ Définition de la bande d'étude

« La bande d'étude est définie autour de chaque voie subissant, du fait de la réalisation du projet, une hausse ou une baisse significative de trafic (variation de 10 %, identiquement au domaine d'étude). Elle est adaptée à l'étude de l'influence du projet sur la pollution atmosphérique à l'échelle locale résultant des polluants primaires. Dans le domaine d'étude, il peut donc y avoir plusieurs bandes d'étude » (*Circulaire DGS/SD 7 B du 25 février 2005*).

Concernant la pollution particulaire, la largeur de la bande d'étude est de 100 mètres, quel que soit le trafic.

Se rapportant à la pollution gazeuse, la largeur minimale de la bande d'étude de part et d'autre de l'axe médian du tracé le plus significatif du projet est définie dans le tableau suivant par :

- le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) prévu à terme ;  
ou
- le trafic à l'Heure de Pointe la plus chargée.

Selon les données trafic, la circulation maximale sur les brins routiers concernés par le projet sera comprise entre 10 000 et 25 000 véhicules par jour (cf. chapitre « Flux de trafic »).

Il en résulte ainsi que la bande d'étude doit avoir au minimum **une largeur de 150 mètres** (Voir tableau et figure ci-après).

Tableau 1 : Largeur minimale de la bande d'étude selon la charge de trafic

Trafic à l'Heure de Pointe (uvp/h)	TMJA à l'horizon d'étude (véh/j)	Largeur minimale de la bande d'étude de part et d'autre de l'axe
> 10 000	> 100 000	300 mètres
5 000 < trafic ≤ 10 000	50 000 < TMJA ≤ 100 000	300 mètres
2 500 < trafic ≤ 5 000	25 000 < TMJA ≤ 50 000	200 mètres
<b>1 000 &lt; trafic ≤ 2 500</b>	<b>10 000 &lt; TMJA ≤ 25 000</b>	<b>150 mètres</b>
≤ 1 000	≤ 10 000	100 mètres

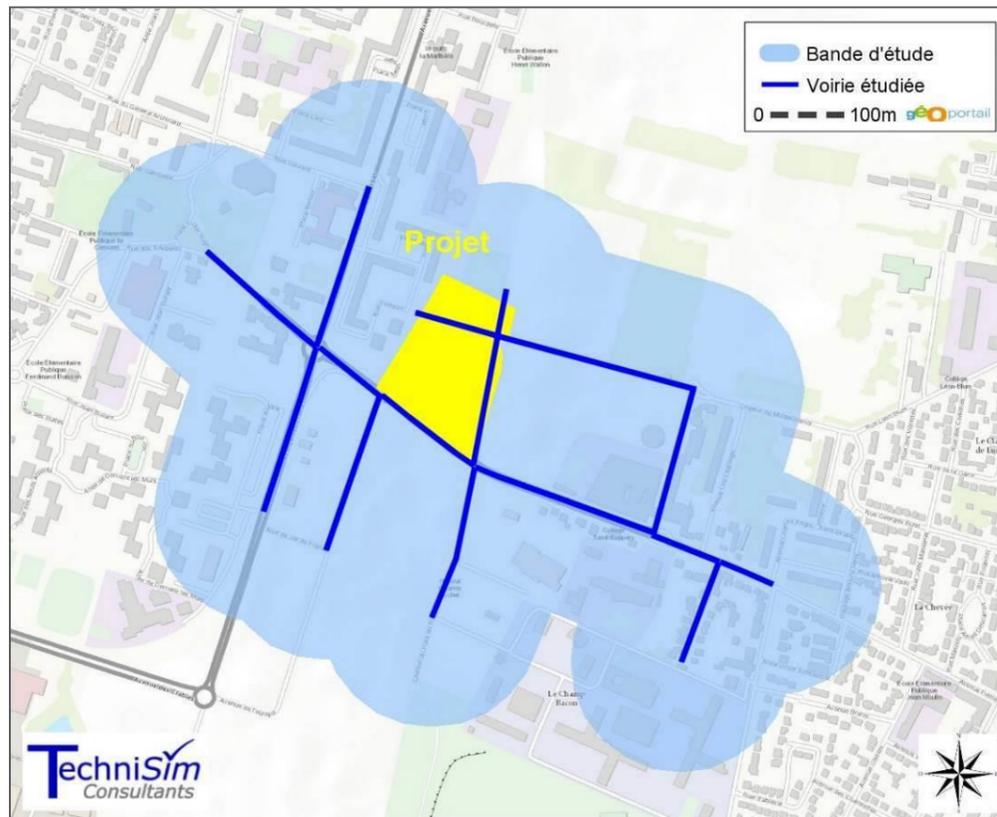


Figure 1 : Bande d'étude (150 m) définie pour le volet air et santé

## 2.2. DÉFINITION DU NIVEAU DE L'ÉTUDE

L'importance de l'étude à mener s'évalue en fonction de la charge prévisionnelle de trafic qui sera supportée par le projet.

Quatre niveaux d'études sont distingués, en fonction de deux paramètres principaux :

- La charge prévisionnelle de trafic ;
- Le nombre de personnes concernées par le projet.

Tableau 2 : Type d'étude en fonction de la charge prévisionnelle de trafic et de la densité du bâti

Densité dans la bande d'étude [hab/km <sup>2</sup> ]	Trafic à l'horizon d'étude (selon tronçons homogènes de plus de 1 km)			
	> 50 000 véh/j ou 5 000 uvp/h	25 000 à 50 000 véh/j ou 2 500 à 5 000 uvp/h	≤ 25 000 véh/j ou 2 500 uvp/h	≤ 10 000 véh/j ou 1 000 uvp/h
> 10 000 hab/km <sup>2</sup>	I	I	II	II si L <sub>projet</sub> > 5 km ou III si L <sub>projet</sub> ≤ 5 km
2 000 hab/km <sup>2</sup> < densité < 10 000 hab/km <sup>2</sup>	I	II	II	II si L <sub>projet</sub> > 25 km ou III si L <sub>projet</sub> ≤ 25 km
< 2 000 hab/km <sup>2</sup>	I	II	II	II si L <sub>projet</sub> > 50 km ou III si L <sub>projet</sub> ≤ 50 km
Pas de bâti	III	III	IV	IV

A l'horizon futur, les brins routiers les plus importants connaissent un trafic inférieur à 2 500 véhicules par Heure de Pointe (cf. chapitre « Flux de trafic »).

Dans la bande d'étude, la densité de population est de 9 800 habitants / km<sup>2</sup> selon l'Insee.

La figure ci-après illustre les carreaux INSEE pris en compte dans le calcul de la densité dans la bande d'étude.

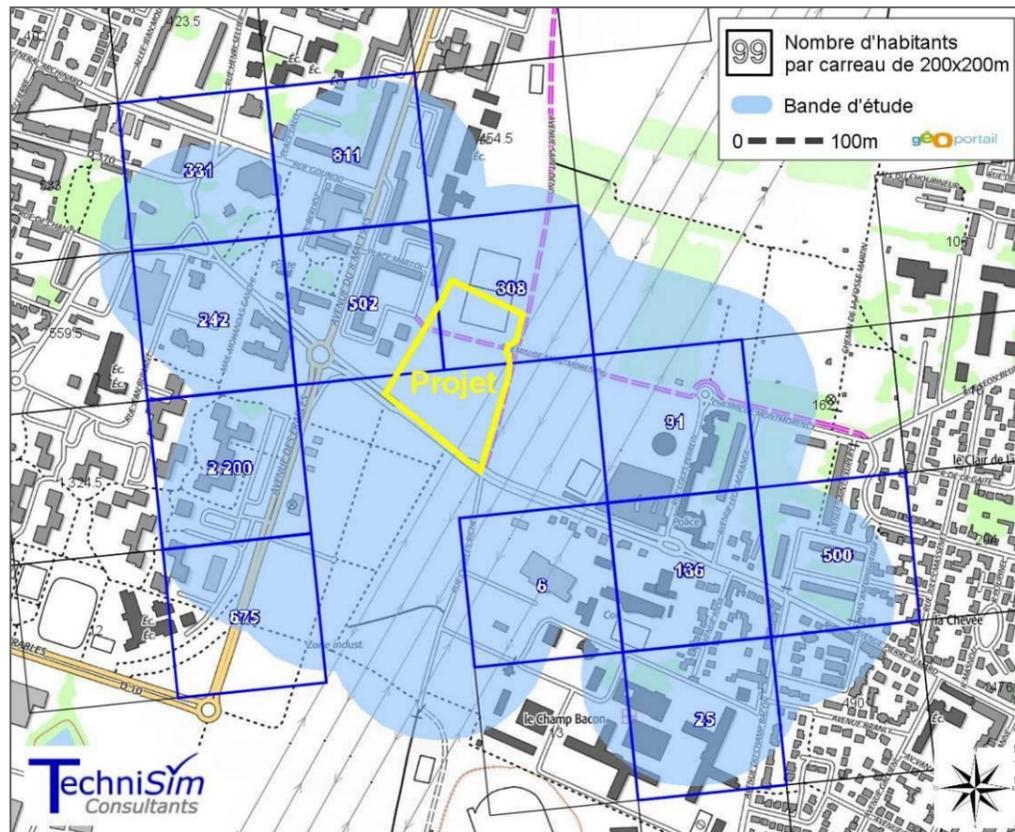


Figure 2 : Nombre d'habitants dans la bande d'étude

Compte tenu de la densité de population dans la bande d'étude et du trafic prévisible à l'horizon de mise en service, il sera réalisé **une étude de niveau II**, qui sera rehaussée au niveau supérieur au droit des sites sensibles à la pollution atmosphérique (crèches, écoles, collèges, maisons de retraite, hôpitaux, centres sportifs en extérieur, ...).

Selon le niveau de l'étude, les exigences réglementaires diffèrent. Ainsi, d'après la circulaire interministérielle du 25 février 2005, les études de type II requièrent :

- Estimation des émissions de polluants au niveau du domaine géographique d'étude ;
- Qualification de l'état initial par des mesures *in situ* ;
- Estimation des concentrations dans la bande d'étude autour du projet ;
- Comparaison des variantes et de la solution retenue sur le plan de la santé *via* un indicateur sanitaire simplifié ;
- Analyse des coûts collectifs de l'impact sanitaire des pollutions et des nuisances, et des avantages/inconvénients induits pour la collectivité ;
- Évaluation des Risques Sanitaires au niveau des sites sensibles.

Regardant une étude de niveau II, les polluants à prendre en compte, définis selon une base réglementaire, sont les suivants :

- Les oxydes d'azote NOx (= NO + NO<sub>2</sub>)
- Le monoxyde de carbone CO ;
- Les particules émises à l'échappement ;
- Le dioxyde de soufre SO<sub>2</sub> ;
- Les hydrocarbures ;
- Le benzène C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> ;
- La pollution particulaire : nickel (Ni) et cadmium (Cd).

### 3. IDENTIFICATION DES SITES SENSIBLES

Il a été recherché la présence de sites dits 'sensibles' à la pollution atmosphérique sur la zone d'étude afin de pouvoir étudier les effets du projet sur ces lieux. Par lieux 'sensibles', on entend toutes les structures fréquentées par des personnes plus particulièrement sensibles aux effets de la pollution atmosphérique, c'est-à-dire :

- Les crèches ;
- Les écoles maternelles et élémentaires
- Les collèges ;
- Les stades et les centres sportifs en extérieur ;
- Les centres de soins ;
- Les résidences de personnes âgées.

Plusieurs sites sensibles ont été répertoriés dans la bande d'étude ou à proximité. Ils sont précisés dans le tableau et la figure qui suivent.

Tableau 3 : Liste des sites sensibles

	N°	Nom	Adresse
<b>Crèche</b>	1	Halte-jeux Les Pitchouns	Avenue du 8 Mai 1945 95400 Villiers-le-Bel
<b>Ecoles maternelles</b>	1	Ecole Henri Wallon	Rue Bourdelle 95400 Villiers-le-Bel
	2	Ecole Jean-Jacques Rousseau	Place Lalo 95400 Villiers-le-Bel
	3	Ecole Emile Zola	Avenue des Erables 95400 Villiers-le-Bel
	4	Ecole Ferdinand Buisson	Rue Jean Bullant 95400 Villiers-le-Bel
<b>Ecoles élémentaires</b>	1	Ecole Henri Wallon	Rue Bourdelle 95400 Villiers-le-Bel
	2	Ecole Paul Langevin 1&2	Place Lalo 95400 Villiers-le-Bel

	N°	Nom	Adresse
	3	Ecole Emile Zola	Avenue des Erables 95400 Villiers-le-Bel
	4	Ecole Ferdinand Buisson	Rue Jean Bullant 95400 Villiers-le-Bel
	5	Ecole Jean Moulin	Avenue Gallieni 95400 Villiers-le-Bel
<b>Collège</b>	1	Collège Saint-Exupéry	42 Avenue Pierre Semard 95400 Villiers-le-Bel
<b>Terrains de sport extérieurs</b>	1	Terrain de football	Chemin de Montmorency 95400 Villiers-le-Bel
	2	Terrains de basketball	Avenue Pierre Semard 95400 Villiers-le-Bel
<b>Centre de soin</b>	1	Hôpital Adélaïde Hautval	Rue du Haut du Roy 95400 Villiers-le-Bel
<b>Maison de retraite</b>	1	EHPAD Adélaïde Hautval	Rue du Haut du Roy 95400 Villiers-le-Bel

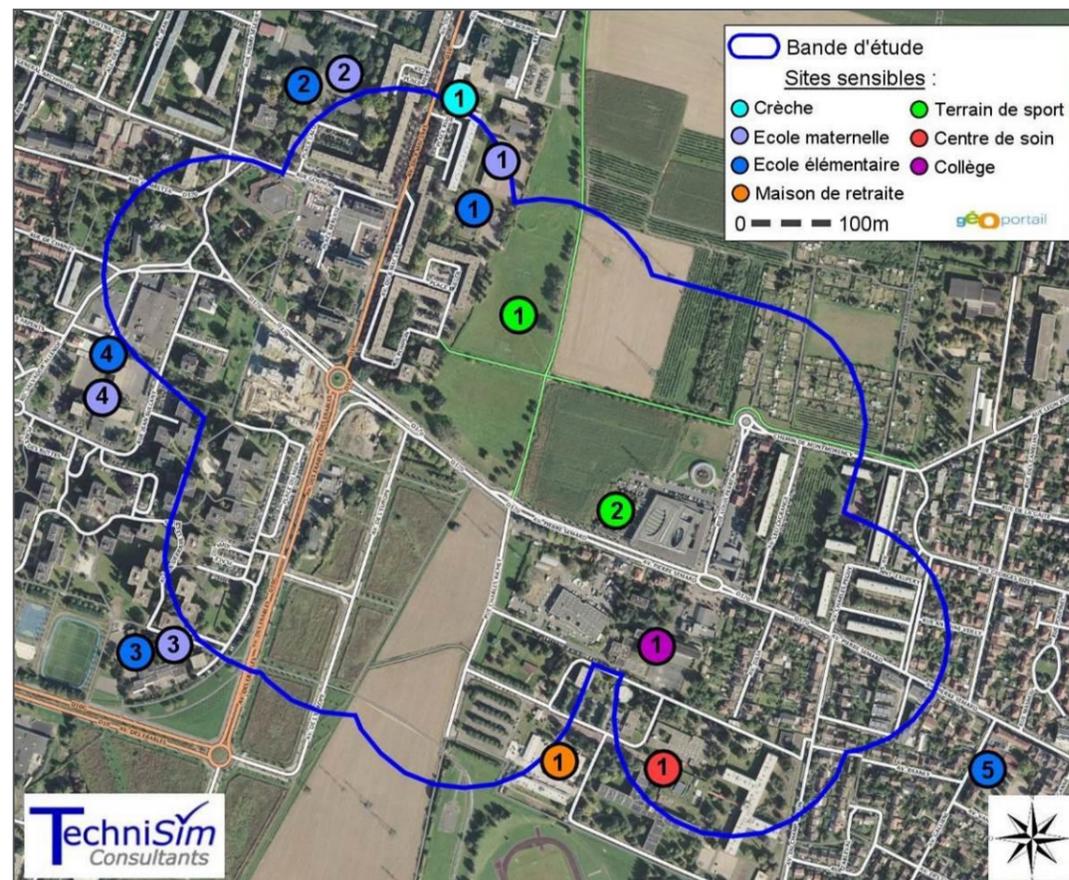


Figure 3 : Localisation des sites sensibles

## 4. IMPACTS DU PROJET SUR LA QUALITE DE L'AIR EN PHASE CHANTIER

Les travaux de construction peuvent polluer l'environnement. Selon le type et la taille du chantier, les effets sont très limités à la fois géographiquement et dans le temps. Néanmoins, sur un grand chantier avec une activité longue et intensive, ils peuvent s'avérer importants.

Il importe en premier lieu de faire la distinction entre les différentes catégories d'émissions atmosphériques rencontrées sur un chantier :

- **Les gaz d'échappement des machines et engins** : les moteurs à combustion des machines et engins rejettent des polluants tels que les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, les composés organiques volatils et les poussières fines ;
- **Les émissions de poussières** : les poussières sont générées lors des travaux d'excavation et d'aménagement, mais également lors du transport, de l'entreposage et du transbordement de matériaux sur le chantier. L'utilisation de machines et de véhicules soulève en permanence des tourbillons de poussière. Le traitement mécanique d'objets et les opérations de soudage libèrent également de la poussière ;
- **Les émissions des solvants** : l'emploi de solvants, ou de produits en contenant, engendre des émissions de composés organiques volatils [COV] ;
- **Les émissions d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques [HAP]** : le bitume utilisé pour le revêtement des voies de circulation, les aires de stationnement et les trottoirs, émet des HAP dont certains sont cancérogènes.

### 4.1. QUANTIFICATION DES ÉMISSIONS LIÉES AUX ACTIVITÉS DU CHANTIER

Il est assez malaisé de quantifier les émissions d'un chantier. La quantification des émissions appelant un nombre important de données, il n'est pas possible, au niveau actuel de l'étude, de quantifier les émissions atmosphériques du chantier.

### 4.2. MESURES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS LIÉES AUX ACTIVITÉS DU CHANTIER

Afin de limiter les émissions atmosphériques provenant du chantier, il est possible de mettre en œuvre certaines mesures.

#### ❖ Mesures de réduction des gaz d'échappement des engins

Deux types de mesures existent :

- Les mesures techniques ;
- Les mesures comportementales.

Les moteurs diesel, s'ils ne sont pas équipés de systèmes de filtres à particules efficaces, occasionnent des émissions de poussières fines particulièrement nocives pour la santé, dont des suies de diesel cancérigènes. L'utilisation d'un filtre à particules sur ces engins permet de réduire de 95 % la teneur en particules des gaz d'échappement.

L'entretien des machines peut également agir sur les émissions, étant donné que des machines mal entretenues génèrent davantage d'émissions atmosphériques.

Enfin, dans son document « Quelques bonnes pratiques sur chantier », l'APESA<sup>1</sup> propose d'utiliser des carburants dits 'propres' en remplacement du diesel : le gaz de pétrole liquéfié [GPL], le gaz naturel pour véhicules [GNV], les carburants TBTS [Très Basse Teneurs en Soufre] ou encore l'Emulsion Eau dans Gazole [EEG]. L'EEG est un mélange de diesel, d'eau, et d'agents émulsifiants. Le principal avantage de l'EEG est de permettre la réduction de 15 à 30 % des rejets de NOx et de 30 à 80 % des émissions de particules carbonées.

Les autres axes de réduction sont relatifs au comportement des opérateurs. Un moteur diesel consomme environ 4 litres/heure pour un ralenti à 1 000 tours/minute. Les changements de comportement des opérateurs sur chantier en vue de limiter les ralentis sont des moyens reconnus de réduction d'émissions.

#### ❖ Mesures de réduction des émissions de poussières

Sur un chantier, les actions responsables de la mise en suspension de poussières sont nombreuses. Une étude d'impact menée par l'Institut Pasteur dans le cadre d'un chantier précis<sup>2</sup> en a ainsi identifiées cinq :

- Les opérations de démolition ;
- La circulation des différents engins de chantiers ;
- Les travaux de terrassement et de remblaiement ;

Et, dans une moindre mesure :

- La découpe de matériaux divers (exemple tuyaux) ;
- Les travaux de soudure.

Pour réduire ces émissions de poussières, certaines actions ciblées peuvent être réalisées :

- L'humidification du terrain, qui permet d'empêcher l'envol des poussières par temps sec en phase de terrassement ;
- L'utilisation de goulottes, pour le transfert des gravats ;
- Le bâchage systématique des camions ;
- La mise en place de dispositifs d'arrosage lors de toute phase ou travaux générateurs de poussières.

<sup>1</sup> L'APESA, est un Centre Technologique en environnement et maîtrise des risques, basé sur 4 sites en Aquitaine (Pau, Lescaur, Bidart, Bordeaux)

<sup>2</sup> Institut Pasteur, 2004, "Etude des impacts environnementaux liés à la construction de la nouvelle parcelle", Département Hygiène, Sécurité et protection de l'Environnement.

#### ❖ Mesures de réduction des émissions de COV et de HAP

Les émissions de composés organiques volatils (COV) peuvent notamment être réduites en :

- Utilisant, si possible, des produits contenant peu ou pas de solvants ;
- Refermant bien les tubes, pots et autres récipients immédiatement après usage pour que la quantité de solvant qui s'en échappe soit aussi minime que possible ;
- Utilisant les vernis, colles et autres substances le plus parcimonieusement possible selon les indications du fabricant.

Concernant les opérations de préparation du bitume, de revêtement et d'étanchéité, les mesures de réduction des émissions possibles sont les suivantes :

- Bannissement des préparations thermiques des revêtements/matériaux contenant du goudron sur les chantiers ;
- Emploi de bitumes à faible taux d'émission de polluants atmosphériques (émission réduite de fumées) ;
- Emploi d'émulsions bitumineuses plutôt que de solutions bitumineuses (travaux de revêtement de routes) ;
- Abaissement maximal de la température de traitement par un choix approprié des liants ;
- Utilisation d'asphaltes coulés et de bitumes à chaud et à faibles émanations de fumées ;
- Emploi de chaudières fermées munies de régulateurs de température ;
- Eviter la surchauffe des bitumineux dans les procédés de soudage ;
- Aménagement des postes de soudage, de manière à ce que les fumées puissent être captées, aspirées et séparées.

#### ❖ Dispositions contractuelles imposées par le maître d'œuvre

Afin de garantir le respect de l'environnement lors de la phase chantier, le maître d'œuvre doit compléter le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) par des dispositions concernant le déroulement du chantier, visant à diminuer les nuisances propres à celui-ci (bruit, poussière, etc.)

Il définit alors les objectifs environnementaux du chantier et peut demander à l'entreprise d'élaborer un plan d'assurance environnement et de le mettre en œuvre. Il peut demander que les principales actions prévues par ce plan soient décrites dans le mémoire technique remis avec l'offre de l'entreprise et en tenir compte dans la recherche du mieux-disant.

## 5. IMPACT DU PROJET SUR LA QUALITE DE L'AIR EN PHASE EXPLOITATION

Conformément à la circulaire interministérielle DGS/SD 7 B n° 2005-273 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'impacts des infrastructures routières, l'analyse des impacts sur la qualité de l'air pour une étude de niveau II comprend :

- L'estimation des émissions engendrées par le trafic au niveau du domaine d'étude ;
- L'estimation des concentrations dans la bande d'étude ;
- L'analyse simplifiée des effets sur la santé avec l'utilisation de l'Indice Pollution Population [IPP] ;
- L'analyse des coûts collectifs de l'impact des pollutions et des nuisances, ainsi que les avantages/inconvénients induits pour la collectivité ;
- L'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires [EQRS] au droit des sites sensibles à la pollution.

Afin d'évaluer l'impact du projet sur la qualité de l'air pour les horizons considérés, il est nécessaire de comparer les émissions dans l'air ambiant de composés indicateurs.

Les horizons et scénarios examinés sont les suivants :

- Horizon actuel [année 2018] ;
- Horizon futur sans projet / « Fil de l'eau » [année 2022] ;
- Horizon futur avec projet [année 2022].

### 5.1. FLUX DE TRAFIC

#### 5.1.1. Brins routiers étudiés

Plusieurs brins ont été déterminés afin de discriminer les émissions générées dans la zone d'étude (Cf. figure page suivante).

Pour chaque scénario, les éléments suivants sont utilisés comme données d'entrée par le modèle COPERT IV pour la quantification de la consommation énergétique et des polluants générés au niveau des routes de l'aire d'étude. Ce sont :

- le trafic pour chaque tronçon exprimé en **T**rafic **M**oyen **J**ournalier **A**nnuel (TMJA), considéré comme égal à dix fois le trafic de l'heure de pointe la plus chargée, c'est-à-dire l'**H**eur**e** de **P**ointe du **S**oir (HPS) ;
- la vitesse de circulation ;
- la longueur des brins routiers.

Les trafics utilisés sont issus des données réalisées dans le cadre de ce projet par le bureau d'études *Cositrex*.

Pour la présente étude - et par défaut - la vitesse moyenne a été considérée comme étant égale à la vitesse maximale autorisée.

Par défaut, les trafics pour le scénario futur sans projet sont considérés comme identiques à ceux de la situation actuelle.

La figure qui va suivre présente les brins routiers retenus dans l'étude. Les données concernant le trafic sont présentées dans le tableau immédiatement après cette figure.

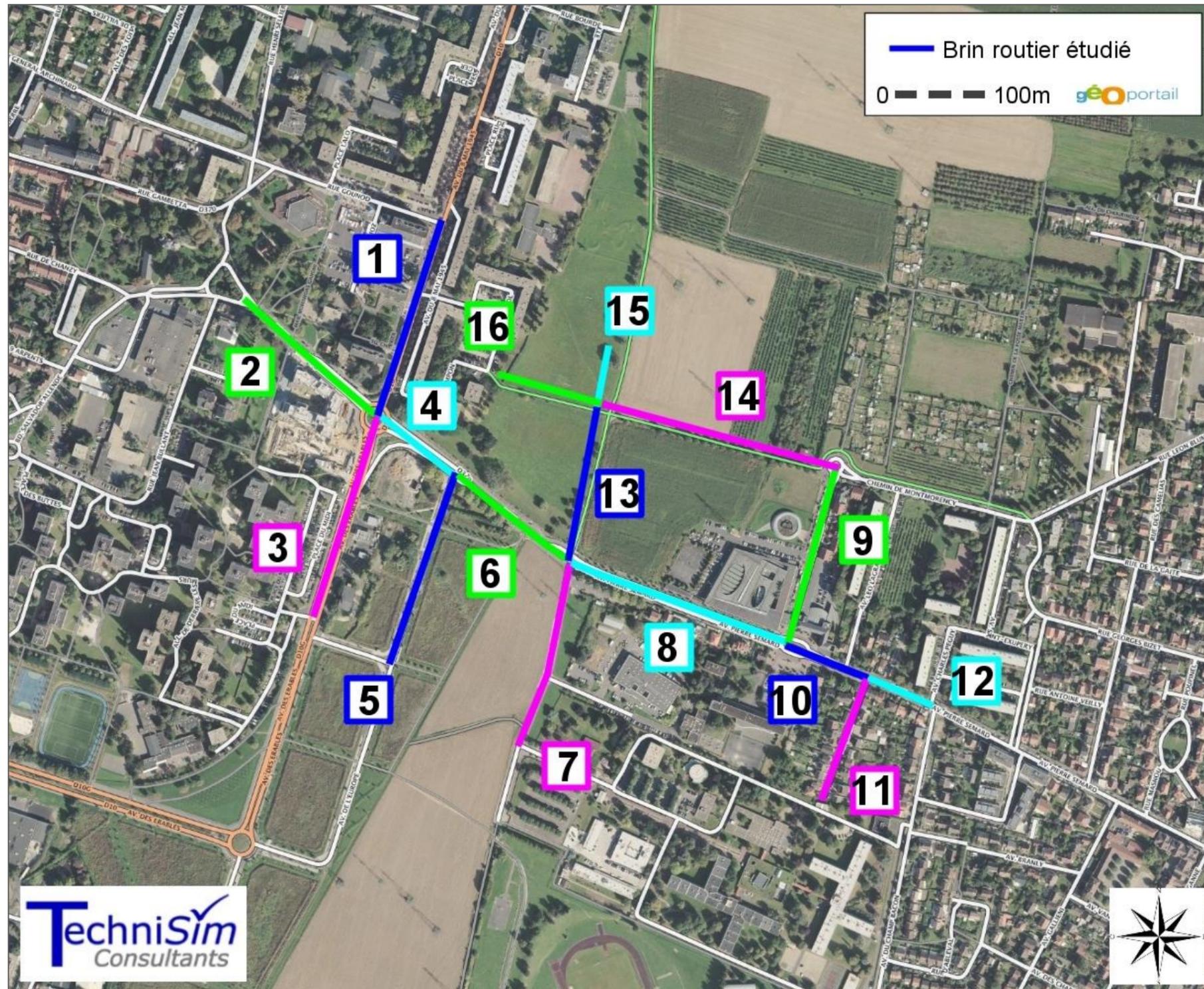


Figure 4 : Tronçons routiers étudiés

Tableau 4 : Caractéristiques et données trafic des brins étudiés

N° brin	Nom de la voie	Longueur	Vitesse	Trafic (TMJA)		
				2018 Etat actuel	2022 Scénario Fil de l'eau	2022 Scénario avec Projet
1	RD10 - Avenue du 8 Mai 1945	230 m	50 km/h	VL : 1 247 PL : 46	VL : 1 247 PL : 46	VL : 1 258 PL : 46
2	RD370 - Avenue Pierre Semard	195 m	50 km/h	VL : 859 PL : 14	VL : 859 PL : 14	VL : 862 PL : 14
3	RD10G - Avenue des Erables	235 m	50 km/h	VL : 1 454 PL : 20	VL : 1 454 PL : 20	VL : 1 483 PL : 20
4	RD370 - Avenue Pierre Semard	105 m	50 km/h	VL : 1 513 PL : 50	VL : 1 513 PL : 50	VL : 1 556 PL : 50
5	Avenue de l'Europe	225 m	50 km/h	VL : 51 PL : 0	VL : 51 PL : 0	VL : 51 PL : 0
6	RD370 - Avenue Pierre Semard	160 m	50 km/h	VL : 1 552 PL : 50	VL : 1 552 PL : 50	VL : 1 595 PL : 50
7	Rue Charles Richet	220 m	50 km/h	VL : 89 PL : 0	VL : 89 PL : 0	VL : 89 PL : 0
8	RD370 - Avenue Pierre Semard	260 m	50 km/h	VL : 1 503 PL : 50	VL : 1 503 PL : 50	VL : 1 389 PL : 50
9	Rue Louis Perrein	200 m	50 km/h	VL : 238 PL : 0	VL : 238 PL : 0	VL : 125 PL : 0
10	RD370 - Avenue Pierre Semard	100 m	50 km/h	VL : 1 325 PL : 50	VL : 1 325 PL : 50	VL : 1 350 PL : 50
11	Avenue Julia	145 m	50 km/h	VL : 213 PL : 0	VL : 213 PL : 0	VL : 213 PL : 0
12	RD370 - Avenue Pierre Semard	80 m	50 km/h	VL : 1 169 PL : 50	VL : 1 169 PL : 50	VL : 1 194 PL : 50
13	Nouveau brin	185 m	50 km/h	VL : 1 247 PL : 46	VL : 1 247 PL : 46	VL : 1 258 PL : 46
14	Nouveau brin	280 m	50 km/h	VL : 859 PL : 14	VL : 859 PL : 14	VL : 862 PL : 14
15	Nouveau brin	40 m	50 km/h	VL : 1 454 PL : 20	VL : 1 454 PL : 20	VL : 1 483 PL : 20
16	Nouveau brin	110 m	50 km/h	VL : 1 513 PL : 50	VL : 1 513 PL : 50	VL : 1 556 PL : 50

### 5.1.2. Indicateur VK

L'estimation des flux de trafic est réalisable avec l'indicateur « Véhicules-Kilomètres ». Cet indice prend en considération non seulement le nombre de véhicules (trafic), mais également le trajet réalisé par ces véhicules.

Pour le scénario analysé (état initial) et si l'on considère N tronçons routiers, l'indicateur VK est calculé selon la formule suivante :

$$VK = \sum_{i=1}^{i=N} (V_i \times L_i)$$

Où :  
 VK = Nombre de « véhicules-kilomètres » [véhicules × km] ;  
 Vi = Nombre de véhicules sur le tronçon i [véhicules] ;  
 Li = Longueur du tronçon i [km].

Le nombre VK permet ainsi l'estimation d'un flux de véhicules le long de leur parcours et des émissions potentielles consécutives à ce flux.

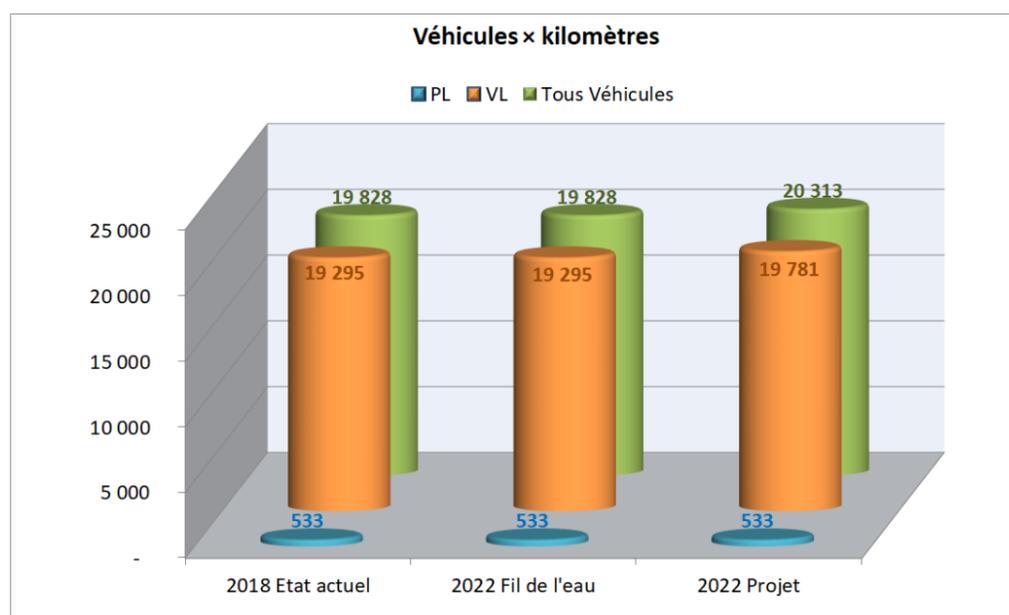


Figure 5 : Flux de trafic (TMJA) : Indice VK

D'après les hypothèses considérées, la circulation pour le scénario 2022 avec projet induit sur les voies considérées une augmentation minimale de trafic (+2,4 %) par rapport à la situation future au « Fil de l'eau ».

## 5.2. ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES

### 5.2.1. Méthodologie

Le calcul des émissions de polluants atmosphériques est réalisé en utilisant la méthodologie et les facteurs d'émissions du logiciel COPERT IV.

COPERT (COmputer Program to calculate Emissions from Road Transport) est un modèle élaboré au niveau européen (MEET<sup>3</sup>, CORINAIR, etc.) par différents laboratoires ou instituts de recherche sur les transports (INRETS, LAT, TUV, TRL, TNO, etc.). Diffusé par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE), cet outil permet d'estimer les émissions atmosphériques liées au trafic routier des différents pays européens. Bien qu'il s'agisse d'une estimation à l'échelle nationale, la méthodologie COPERT s'applique, dans certaines limites, à des résolutions spatio-temporelles plus fines (1 heure ; 1 km<sup>2</sup>) et permet ainsi d'élaborer des inventaires d'émission à l'échelle d'un tronçon routier, que l'on appellera « brin », ou du réseau routier d'une zone ou d'une agglomération.

Ce modèle COPERT IV, développé sous l'égide de l'Agence Européenne de l'Environnement afin de permettre aux états membres d'effectuer des inventaires homogènes de polluants liés au transport routier, intègre l'ensemble des données disponibles aujourd'hui, et permet en outre le calcul de facteurs d'émission moyens sur une voie donnée ou un ensemble de voies, pour peu que les véhicules circulant sur cette voie constituent un échantillon représentatif du parc national.

COPERT IV est capable d'utiliser le flux de véhicules sur chaque tronçon donné, soit par des comptages, soit par un modèle de trafic. Le flux total par tronçon est alors décomposé par type de véhicule selon la classification européenne PRE ECE, ECE et Euro. Cette ventilation utilise les données du parc automobile standard français déterminé en 2013 par l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) pour l'intervalle 1990-2030.

Le modèle d'émissions du système européen COPERT IV calcule les quantités de polluants rejetées par le trafic sur les différentes voies de circulation introduites dans le modèle. Les émissions sont ainsi évaluées d'après les facteurs d'émission de méthodologies reconnues principalement à partir du nombre de véhicules et de la vitesse de circulation ainsi que de la longueur des trajets.

Pour les études de type II, les composés considérés sont les suivants :

- les oxydes d'azote [NOx] dont le dioxyde d'azote [NO<sub>2</sub>], le monoxyde de carbone [CO], les hydrocarbures, le benzène [C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>], les particules émises à l'échappement [PM], le dioxyde de soufre [SO<sub>2</sub>],
- ainsi que le nickel [Ni] et le cadmium [Cd] pour la pollution particulaire.

<sup>3</sup> MEET : Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption - DG Transport, Commission Européenne - 1999.

Toutefois, étant donné que l'étude est rehaussée au niveau I au droit des sites sensibles, la liste des composés considérés est augmentée pour comprendre tous les polluants de la circulaire du 25 février 2005, à savoir :

- Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)
- Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)
- Particules en suspension (PM)
- Composés Organiques Volatils (COV)
- Acétaldéhyde (CH<sub>3</sub>CHO)
- Acroléine (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O)
- Benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)
- Buta-1,3-diène (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>)
- Formaldéhyde (CH<sub>2</sub>O)
- Benzo-[a]-pyrène (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>)
- Arsenic (As)
- Cadmium (Cd)
- Chrome (Cr)
- Mercure (Hg)
- Nickel (Ni)
- Plomb (Pb)
- Baryum (Ba)
- Monoxyde de carbone (CO)

### 5.2.2. Résultats du calcul des émissions de polluants atmosphériques

Le tableau ci-après dresse la liste des émissions journalières sur la totalité de la voirie prise en compte dans le domaine de l'étude, sur la base du parc routier moyen français de l'IFFSTAR [Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux].

Par rapport à la situation actuelle de 2018, les émissions de polluants atmosphériques vont diminuer pour les scénarios futurs du fait des évolutions liées au changement du parc routier, par exemple : apparition et généralisation des améliorations technologiques concernant les moteurs et les systèmes épuratifs des véhicules, et développement des véhicules hybrides et électriques.

Ainsi, en comparaison avec la situation actuelle, les émissions diminuent en moyenne de 11 % et 7 % respectivement pour les scénarios sans et avec projet de l'horizon 2022.

Tableau 5 : Emissions globales pour les scénarios traités

Composés	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<i>Monoxyde de carbone [kg / jour]</i>	7,99	6,31	6,46
<i>Oxydes d'azote [kg / jour]</i>	9,17	6,32	6,48
<i>Particules PM10 [g / jour]</i>	1 421,12	1 308,78	1 333,85
<i>Particules PM2,5 [g / jour]</i>	234,27	121,93	124,83
<i>Dioxyde de soufre [g / jour]</i>	23,86	23,38	23,90
<b>COV (Composés Organiques Volatils)</b>			
<i>Acétaldéhyde [g / jour]</i>	25,04	21,17	21,69
<i>Acroléine [g / jour]</i>	12,85	10,90	11,17
<i>Formaldéhyde [g / jour]</i>	47,57	40,11	41,09
<i>Butadiène (1,3) [g / jour]</i>	7,32	5,96	6,10
<i>Benzène [g / jour]</i>	28,15	22,37	22,93
<b>HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)</b>			
<i>HAP* [mg / jour]</i>	98,22	92,27	94,37
<i>Dont Benzo[a]pyrène [mg / jour]</i>	30,07	29,44	30,16
<b>Métaux</b>			
<i>Arsenic [mg / jour]</i>	1,08	1,08	1,10
<i>Mercure [mg / jour]</i>	20,94	20,94	29,45
<i>Baryum [mg / jour]</i>	196,20	196,20	200,70
<i>Plomb [mg / jour]</i>	0,06	0,06	0,06
<i>Cadmium [mg / jour]</i>	13,81	13,65	13,95
<i>Chrome [mg / jour]</i>	84,00	83,25	85,12
<i>Nickel [mg / jour]</i>	32,06	31,92	32,63

\*Somme des six HAP les plus cancérigènes :  
 - indéno(1,2,3-cd)pyrène      - dibenzo(ah)anthracène  
 - benzo(a)anthracène          - benzo(a)pyrène  
 - benzo(k)fluoranthène        - benzo(b)fluoranthène

Les figures suivantes présentent les émissions des principaux composés caractéristiques de la pollution routière.

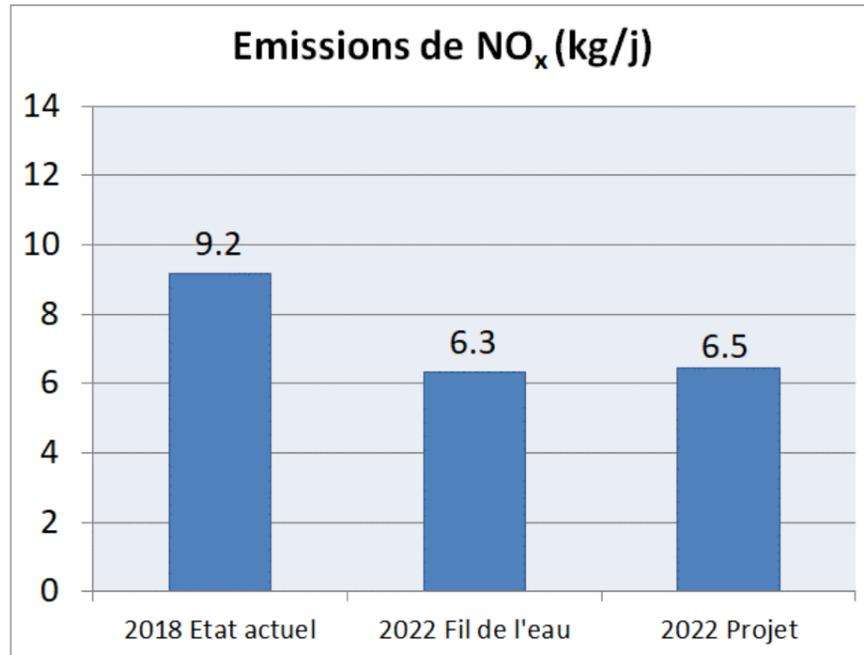


Figure 6 : Émissions journalières – Oxydes d'azote

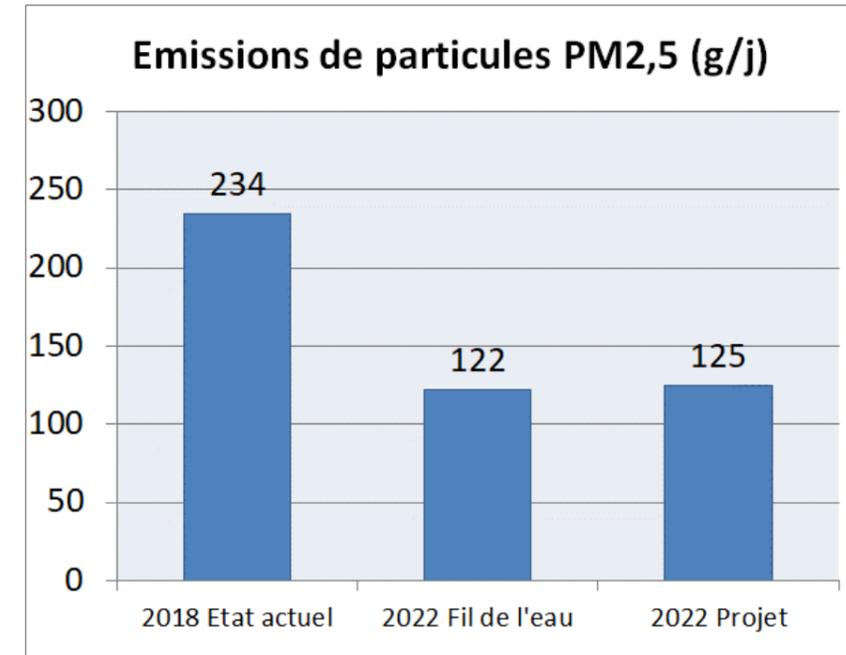


Figure 8 : Émissions journalières – Particules PM<sub>2,5</sub>

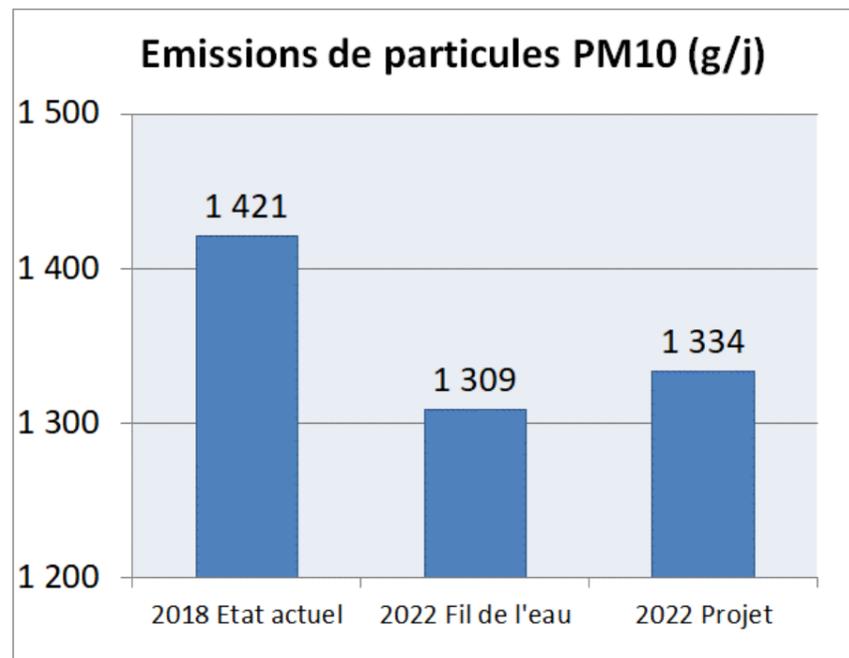


Figure 7 : Émissions journalières – Particules PM<sub>10</sub>

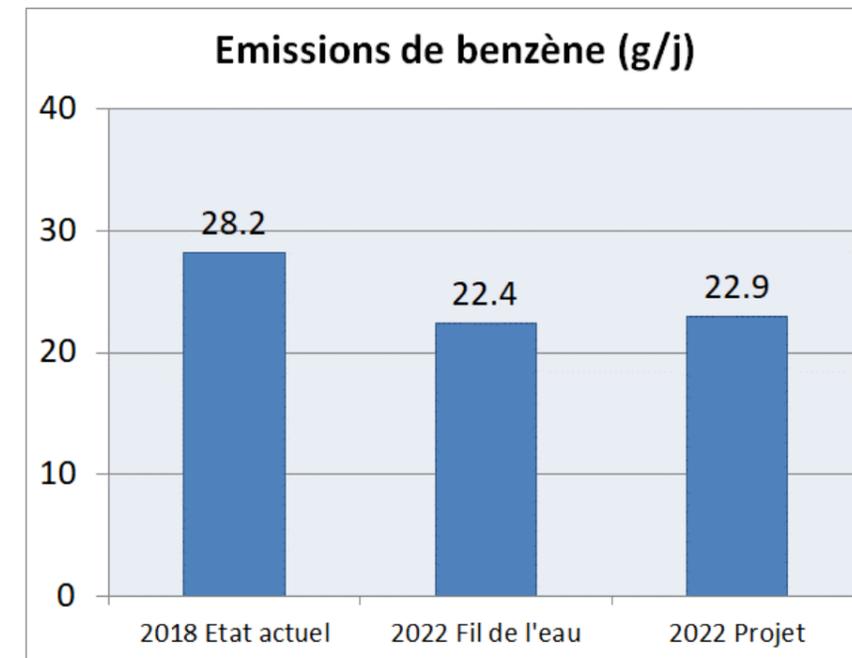


Figure 9 : Émissions journalières – Benzène

### 5.2.3. Résultats du calcul des émissions de gaz à effet de serre

#### ❖ Présentation

Les gaz à effet de serre (GES) participent au phénomène d'effet de serre, qui permet à une partie du rayonnement solaire d'être absorbée, puis réémise, cela provoquant le réchauffement de la surface de la terre et de l'atmosphère. Leurs émissions doivent donc être maîtrisées de manière à ne pas assister à une augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre, ce qui pourrait avoir des répercussions néfastes sur l'environnement et les écosystèmes.

Le domaine des transports contribue à environ 25 % des émissions de GES avec notamment les transports routiers dont la combustion des carburants dans les moteurs produit des gaz à effet de serre, le plus important étant le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Chaque GES possède un certain pouvoir radiatif. Cette capacité de rayonnement dépend de la qualité chimique du gaz et de sa durée de vie dans l'atmosphère.

Pour établir une grille de comparaison, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) a été choisi comme étalon. Ainsi, les émissions de GES sont-elles quantifiées en tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>, quel que soit le GES considéré.

Les 3 gaz à effet de serre dont les émissions ont été calculées sont les suivants :

- **Le dioxyde de carbone**, ou gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Principal gaz à effet de serre après la vapeur d'eau, il provient majoritairement de la combustion des énergies fossiles, mais aussi de la déforestation qui libère le carbone de la matière végétale sous forme de CO<sub>2</sub>. Sa durée de vie dans l'atmosphère est de l'ordre de 100 ans.
- **Le méthane** (CH<sub>4</sub>). Une molécule de méthane absorbe en moyenne 34 fois plus de rayonnement qu'une molécule de CO<sub>2</sub> sur la période d'un siècle, son potentiel de réchauffement global (PRG) est donc de 34 ; sur une échéance de 20 ans, son PRG est même de 86.
- **L'oxyde nitreux**, ou protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). Il s'agit du 4<sup>ème</sup> plus important GES dans sa contribution au réchauffement de la planète après la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>). Son PRG à 100 ans correspond à 298 fois celui du CO<sub>2</sub>.

#### ❖ Emissions en GES dues au trafic sur la voirie considérée

Dans cette étude, la quantification en GES a été effectuée au moyen du logiciel COPERT IV pour les émissions engendrées par le trafic.

Cette partie traite donc des émissions de GES dues au trafic routier de la voirie prise en compte dans le domaine d'étude.

La quantité moyenne de GES produite par jour – principalement du dioxyde de carbone – est indiquée dans le tableau ci-après.

Tableau 6 : Quantité de GES produite en kgeqCO<sub>2</sub> / jour

	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
Dioxyde de carbone [CO <sub>2</sub> ]	3 713	3 664	3 746
Méthane [CH <sub>4</sub> ]	3	3	3
Protoxyde d'azote [N <sub>2</sub> O]	59	58	59
<b>Total des GES</b>	<b>3 775</b>	<b>3 725</b>	<b>3 808</b>

Conséquemment aux variations du trafic, les émissions de GES par rapport à la situation initiale de 2018 augmentent de façon minime (1 %) pour le scénario 2022 avec projet.

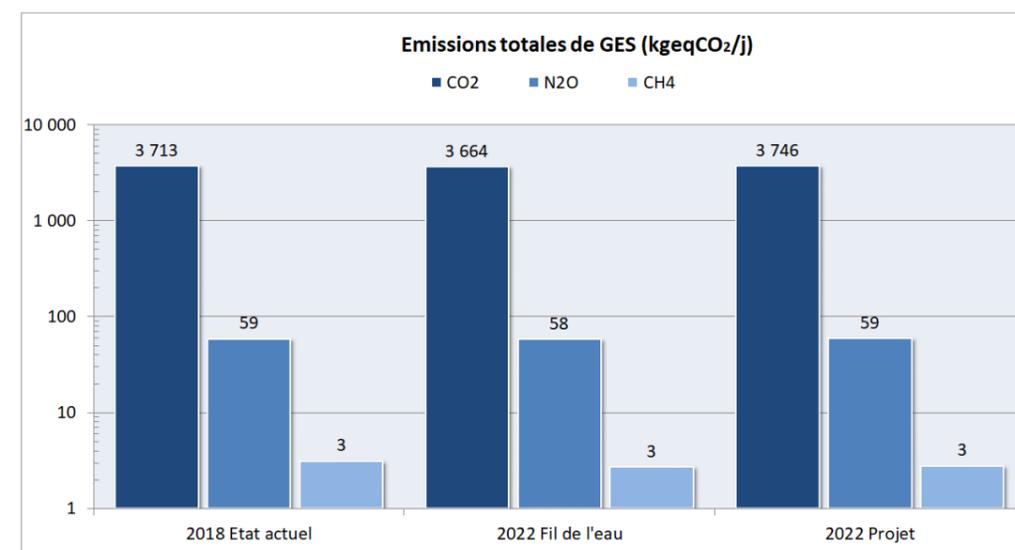


Figure 10 : Evolution des émissions de GES (échelle logarithmique)

### 5.3. SIMULATION NUMÉRIQUE DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

L'objectif de la simulation numérique est d'estimer les concentrations en polluants, aux alentours des sources et au niveau des populations et sites sensibles.

Dans le cas étudié ici, le modèle de dispersion atmosphérique utilisé est le logiciel AERMOD (US EPA).

Les calculs de dispersion se basent sur des taux d'émissions prévisionnels, des données météorologiques et la topographie.

#### 5.3.1. Méthodologie

Le modèle AERMOD est présenté par l'AERMIC (American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model Improvement Committee) comme l'état de l'art parmi les modèles de dispersion de l'US EPA (United States Environmental Protection Agency). Ce modèle a, par ailleurs, été imposé comme modèle de dispersion de l'air obligatoire aux Etats-Unis pour toutes les études réglementaires.

C'est un modèle de type gaussien de dernière génération qui est basé sur la structure turbulente de la couche limite planétaire et des concepts d'échelles, incluant les terrains plats et complexes. Il détermine la vitesse du vent et la classe de stabilité qui donnent lieu aux concentrations maximales.

Ce modèle suppose qu'il n'y a ni déposition lors du transport, ni réaction des polluants.

Ce type de modèle permet de prédire des concentrations au sol de rejets gazeux non réactifs, ou de particules solides.

Par ailleurs, les avantages et les limites de ce type de logiciel sont connus et publiés.

AERMOD contient deux préprocesseurs pour la conversion préalable des données météorologiques et topographiques : AERMET et AERMAP.

L'équation de base des modèles gaussiens permettant le calcul des concentrations, est la suivante :

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{2 \cdot \pi \cdot u_{10} \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2(x)}\right) \cdot \left[ \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right) \right]$$

- Avec
- C concentration de polluants au point x,y,z (M/L<sup>3</sup>)
  - Q débit de la source de polluants en (M/T)
  - U<sub>10</sub> vitesse moyenne du vent mesurée à 10 m du sol (L/T)
  - σ<sub>y</sub> écart-type de la distribution horizontale de turbulence (L)
  - σ<sub>z</sub> écart-type de la distribution verticale de turbulence (L)
  - h hauteur effective de la source de polluants (L)

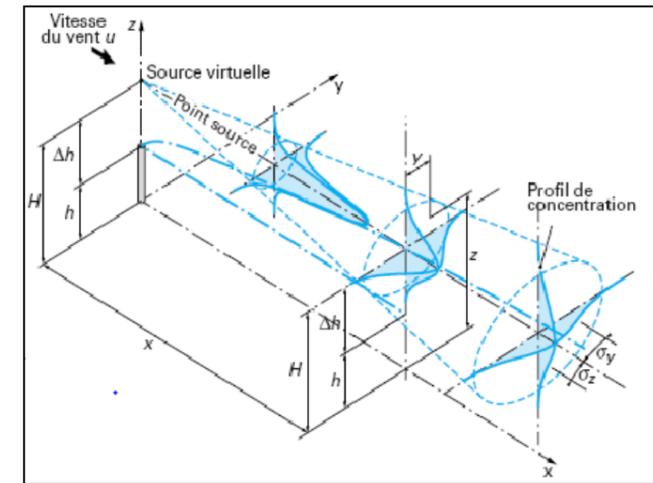


Figure 11 : Modélisation gaussienne d'un panache

La dispersion atmosphérique des polluants est directement influencée par les conditions météorologiques.

Les paramètres nécessaires aux simulations ont été recueillis pour une année complète au niveau de la station météorologique « Aéroport Paris-Orly ». L'utilisation de données horaires permet d'assurer une bonne représentativité de l'évolution des paramètres.

La figure qui suit présente la rose des vents utilisée pour les simulations.

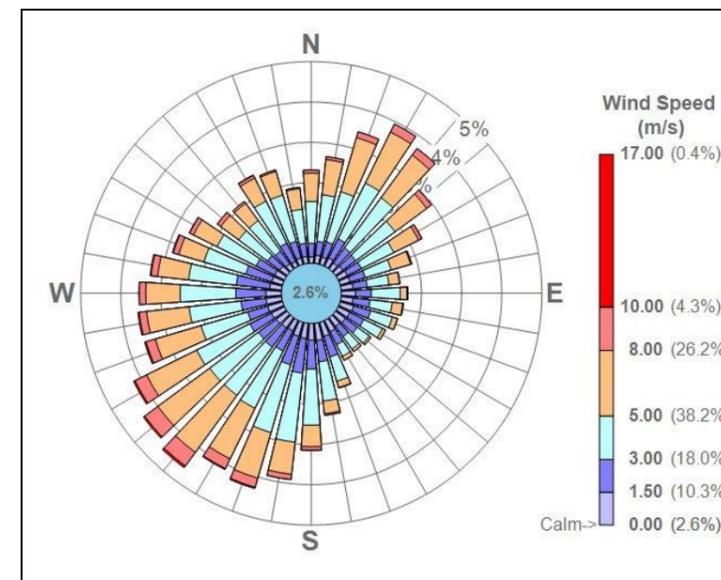


Figure 12 : Rose des vents utilisée pour les simulations

### 5.3.2. Résultats de la dispersion atmosphérique

Les résultats que l'on retient sont les concentrations en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à hauteur d'homme. Ils sont obtenus pour chaque scénario de modélisation retenu, et indiqués dans les tableaux qui vont suivre.

*Nota Bene : Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.*

Tableau 7 : Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maximales relevées dans la bande d'étude pour les composés faisant l'objet d'une réglementation.

Composés faisant l'objet d'une réglementation				
Composés	Pas de temps	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
Dioxyde d'azote	Année	11,61	7,96	8,13
	Heure	113,31	77,56	79,28
Particules PM10	Année	1,85	1,71	1,74
	Jour	7,68	7,07	7,21
Particules PM2,5	Année	2,96E-01	0,15	0,16
Dioxyde de soufre	Année	3,03E-02	2,97E-02	3,03E-02
	Jour	0,13	0,12	0,13
	Heure	0,30	0,29	0,30
Monoxyde de carbone	Année	9,78	7,71	7,80
	Heure	101,33	78,83	79,86
Benzène	Année	3,59E-02	2,75E-02	2,75E-02
Plomb	Année	7,17E-08	7,02E-08	7,17E-08
B[a]P	Année	3,74E-05	3,66E-05	3,75E-05
Arsenic	Année	1,36E-06	1,36E-06	1,39E-06
Cadmium	Année	1,72E-05	1,70E-05	1,73E-05
Nickel	Année	4,02E-05	4,00E-05	4,08E-05

Tableau 8 : Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) maximales relevées dans la bande d'étude pour les composés cités dans la circulaire du 25 février 2005 mais ne faisant pas l'objet d'une réglementation.

Composés indiqués dans la circulaire du 25 février 2005 et ne faisant pas l'objet d'une réglementation				
Composés	Pas de temps	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
Acétaldéhyde	Année	3,11E-02	2,63E-02	2,69E-02
Acroléine	Année	1,59E-02	1,35E-02	1,38E-02
Butadiène (1,3)	Année	9,31E-03	7,58E-03	7,74E-03
Formaldéhyde	Année	5,92E-02	4,99E-02	5,10E-02
HAP	Année	1,24E-04	1,16E-04	1,19E-04
Baryum	Année	2,46E-04	2,46E-04	2,51E-04
Chrome	Année	1,05E-04	1,04E-04	4,57E-05
Mercure	Année	2,68E-05	2,68E-05	4,06E-05

De manière générale, les améliorations techniques du parc routier pour les scénarios futurs entraînent des concentrations moins importantes par rapport à la situation actuelle. Les valeurs-seuils sont respectées pour l'ensemble des polluants et situations étudiés.

### 5.3.3. Résultats des substances réglementées

Les critères nationaux de qualité de l'air sont définis dans le Code de l'environnement (articles R221-1 à R221-3).

Les normes à respecter en matière de qualité de l'air, sont définies dans le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 qui transpose la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 :

- **Objectif de qualité** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme, 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 ;
- **Seuil d'information et de recommandation** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates ;
- **Seuil d'alerte** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque

pour la santé humaine ou de dégradation de l'environnement justifiant l'intervention de mesures d'urgence ;

- **Valeur cible** : niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible dans un délai donné ;
- **Valeur limite** : seuil maximal de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement ;
- **Niveau critique** : niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques, au-delà duquel des effets nocifs directs peuvent se produire sur certains récepteurs, tels que les arbres, les autres plantes ou écosystèmes naturels, à l'exclusion des êtres humains.

La liste des substances faisant l'objet d'une réglementation est la suivante :

- Le dioxyde d'azote ;
- Les particules PM10 ;
- Les particules PM2,5 ;
- Le benzène ;
- Le dioxyde de soufre ;
- Le plomb ;
- Le monoxyde de carbone ;
- Le benzo[a]pyrène ;
- L'arsenic, le cadmium, le nickel ;
- L'ozone.

L'ozone est un polluant produit dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire par des réactions entre les oxydes d'azote et les composés organiques volatils émis notamment par les activités humaines.

La modélisation et la prévision des pollutions à l'ozone sont complexes. En effet, la formation de l'ozone est fonction du rayonnement solaire et de la présence de ses précurseurs. Par conséquent, le polluant ozone ne sera pas considéré.

Parmi ces composés, ceux rejetés en quantité par le trafic routier (« traceurs ») sont le dioxyde d'azote, les particules PM10 et PM2,5.

L'analyse des impacts des projets sur la qualité de l'air se portera essentiellement sur les polluants précités.

#### ❖ Dioxyde d'azote [NO<sub>2</sub>]

Les tableaux suivants indiquent les valeurs réglementaires relatives au dioxyde d'azote, ainsi que les résultats des modélisations au niveau du domaine d'étude, dans son ensemble et pour les sites sensibles les plus impactés par catégorie.

Tableau 9 : Résultats des modélisations pour le dioxyde d'azote – moyenne annuelle

NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) Moyenne annuelle	Valeur limite	40 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne annuelle	
	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<b>MAXIMUM</b>	<b>11,61</b>	<b>7,96</b>	<b>8,13</b>
<b>MOYENNE</b>	11,61	1,01	1,05
<b>CENTILE 90</b>	1,66	2,26	2,49
<b>CENTILE 80</b>	3,29	1,15	1,18
Crèche	0,82	0,56	0,58
Ecole maternelle	1,39	0,96	0,98
Ecole élémentaire	1,39	0,96	0,98
Collège	3,10	2,10	2,05
Terrain de sport	6,54	4,47	4,36
Centre de soin	1,12	0,77	0,76
Maison de retraite	1,08	0,74	0,74
<b><u>Nota Bene</u></b>	<i>Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.</i>		

Tableau 10 : Résultats des modélisations pour le dioxyde d'azote – moyenne horaire

NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) Moyenne annuelle	Valeur limite	200 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne horaire (18 dépassements autorisés)	
	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<b>MAXIMUM</b>	<b>113,31</b>	<b>77,56</b>	<b>79,28</b>
<b>MOYENNE</b>	16,35	11,25	11,55
<b>CENTILE 90</b>	38,77	26,53	28,08
<b>CENTILE 80</b>	21,21	14,71	15,53
Crèche	8,95	6,11	6,53
Ecole maternelle	16,12	11,11	11,40
Ecole élémentaire	16,12	11,11	11,40
Collège	38,81	26,41	25,60
Terrain de sport	67,94	46,27	43,34
Centre de soin	14,39	9,78	9,76
Maison de retraite	13,33	9,20	9,08
<b>Nota Bene</b>	<i>Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.</i>		

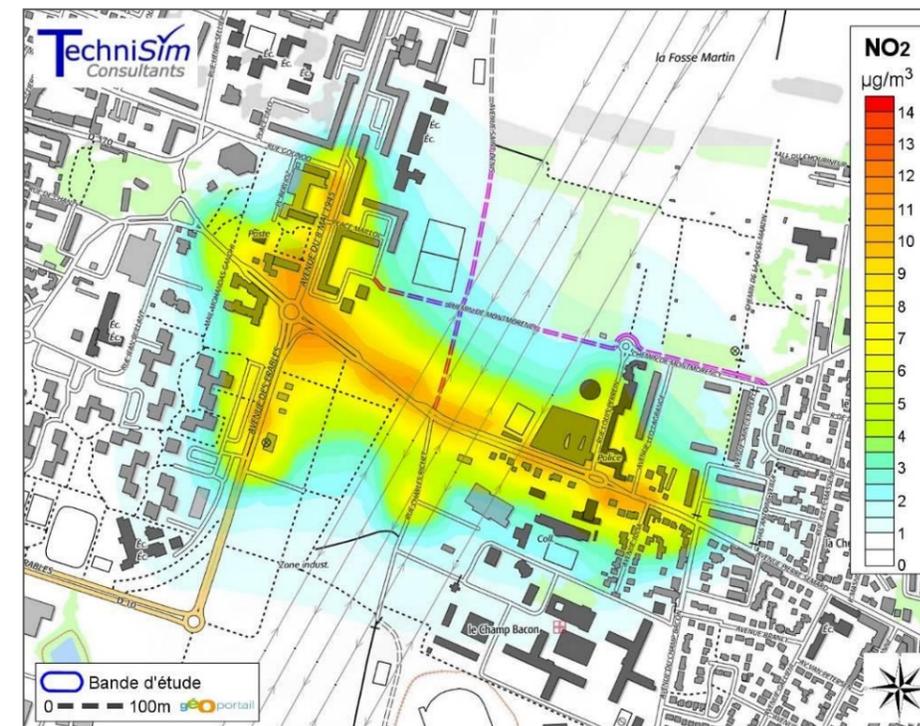


Figure 13 : Horizon 2018 Actuel – concentration (µg/m<sup>3</sup>) moyenne annuelle en NO<sub>2</sub>

D'après les hypothèses considérées, les concentrations en dioxyde d'azote sont globalement maximales pour la situation actuelle.

Pour l'horizon futur 2022, les améliorations technologiques apportées aux véhicules routiers (moteurs, systèmes épuratifs des gaz, progression de la part de véhicules électriques ou hybrides) vont entraîner une baisse des émissions et des concentrations d'oxydes d'azote.

Les figures qui suivent présentent la cartographie des isocontours des concentrations moyennes pour les différents horizons étudiés.

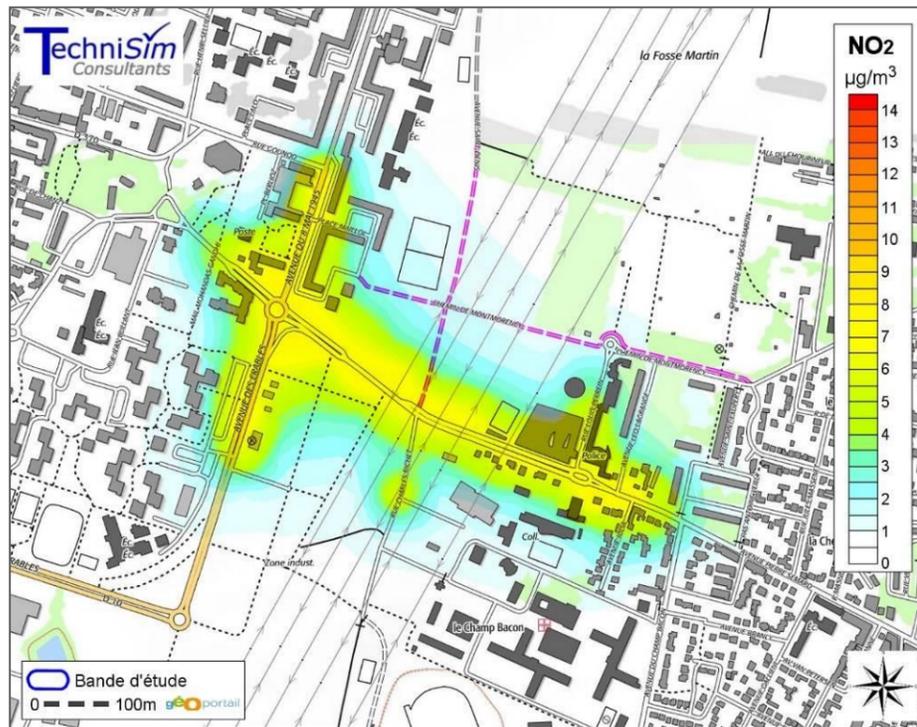


Figure 14 : Horizon 2022 Fil de l'eau – concentration (µg/m³) moyenne annuelle en NO<sub>2</sub>

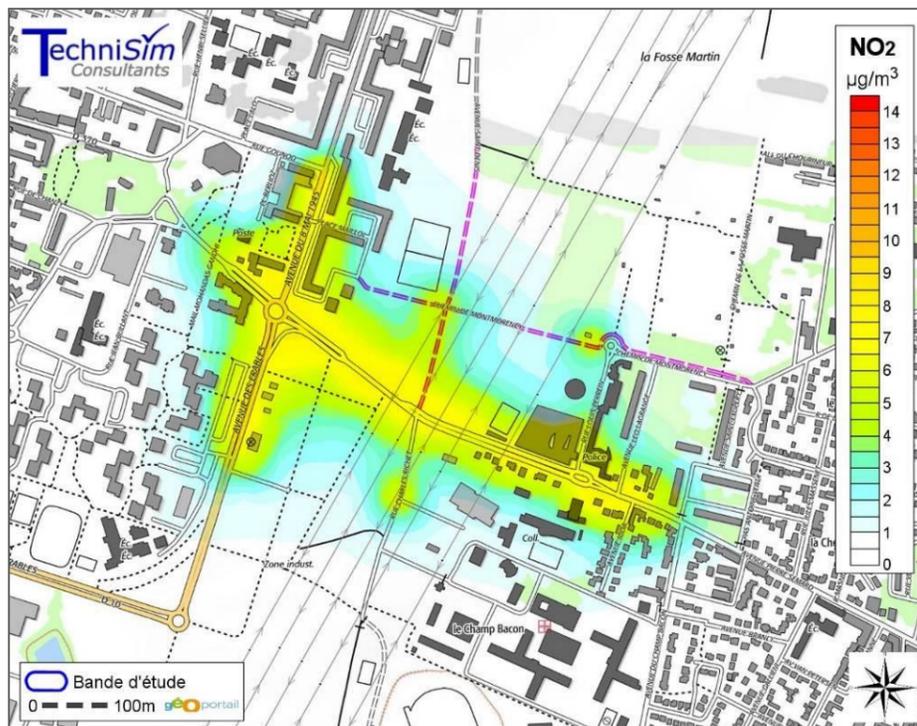


Figure 15 : Horizon 2022 Projet – concentration (µg/m³) moyenne annuelle en NO<sub>2</sub>

❖ Particules PM10 et PM2,5

Les tableaux ci-après précisent les valeurs réglementaires relatives aux particules PM10 et PM2,5, ainsi que les résultats des modélisations au niveau du domaine d'étude dans son ensemble, et pour les sites sensibles les plus impactés par catégorie.

Tableau 11 : Résultats des modélisations pour les particules PM10 – moyenne annuelle

PM10 (µg/m <sup>3</sup> ) Moyenne annuelle	Valeur limite	40 µg/m <sup>3</sup> pour la moyenne annuelle	
	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<b>MAXIMUM</b>	<b>1,85</b>	<b>1,71</b>	<b>1,74</b>
<b>MOYENNE</b>	0,23	0,21	0,22
<b>CENTILE 90</b>	0,52	0,48	0,51
<b>CENTILE 80</b>	0,26	0,24	0,24
Crèche	0,13	0,12	0,12
Ecole maternelle	0,22	0,20	0,21
Ecole élémentaire	0,22	0,20	0,21
Collège	0,45	0,42	0,41
Terrain de sport	1,04	0,96	0,94
Centre de soin	0,17	0,15	0,15
Maison de retraite	0,17	0,15	0,15
<b>Nota Bene</b>	<i>Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.</i>		

Tableau 12 : Résultats des modélisations pour les particules PM10 – moyenne journalière

PM10 (µg/m³) Moyenne journalière	Valeur limite	50 µg/m³ pour la moyenne journalière (35 dépassements autorisés)	
	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<b>MAXIMUM</b>	<b>7,68</b>	<b>7,07</b>	<b>7,21</b>
<b>MOYENNE</b>	1,19	1,10	1,13
<b>CENTILE 90</b>	2,68	2,48	2,58
<b>CENTILE 80</b>	1,46	1,35	1,40
Crèche	0,87	0,80	0,81
Ecole maternelle	1,19	1,10	1,11
Ecole élémentaire	1,19	1,10	1,11
Collège	2,31	2,12	1,95
Terrain de sport	4,20	3,87	3,85
Centre de soin	0,99	0,91	0,90
Maison de retraite	1,03	0,95	0,91
<b>Nota Bene</b>	<i>Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.</i>		

Tableau 13 : Résultats des modélisations pour les particules PM2,5 – moyenne annuelle

PM2,5 (µg/m³) Moyenne annuelle	Valeur limite	25 µg/m³ pour la moyenne annuelle	
	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<b>MAXIMUM</b>	<b>0,30</b>	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>
<b>MOYENNE</b>	3,76E-02	1,96E-02	2,03E-02
<b>CENTILE 90</b>	8,43E-02	4,40E-02	4,85E-02
<b>CENTILE 80</b>	4,29E-02	2,23E-02	2,28E-02
Crèche	2,09E-02	1,09E-02	1,11E-02
Ecole maternelle	3,55E-02	1,85E-02	1,90E-02
Ecole élémentaire	3,55E-02	1,85E-02	1,90E-02
Collège	7,74E-02	4,03E-02	3,93E-02
Terrain de sport	1,66E-01	8,62E-02	8,40E-02
Centre de soin	2,83E-02	1,47E-02	1,47E-02
Maison de retraite	2,75E-02	1,43E-02	1,42E-02
<b>Nota Bene</b>	<i>Ces résultats ne considèrent que l'effet des émissions des brins considérés. Les autres sources d'émission ne sont pas prises en considération, l'objectif étant de déterminer l'impact du projet sur la qualité de l'air.</i>		

Comme pour le dioxyde d'azote, les concentrations en particules PM10 et PM2,5 diminuent pour les scénarios futurs par rapport à l'état actuel. En effet, les hausses de trafic sont compensées par les améliorations technologiques apportées aux véhicules (moteurs, systèmes épuratifs des gaz, ...).

Les figures immédiatement suivantes présentent la cartographie des isocontours des concentrations moyennes pour les différents horizons étudiés pour les particules PM10.

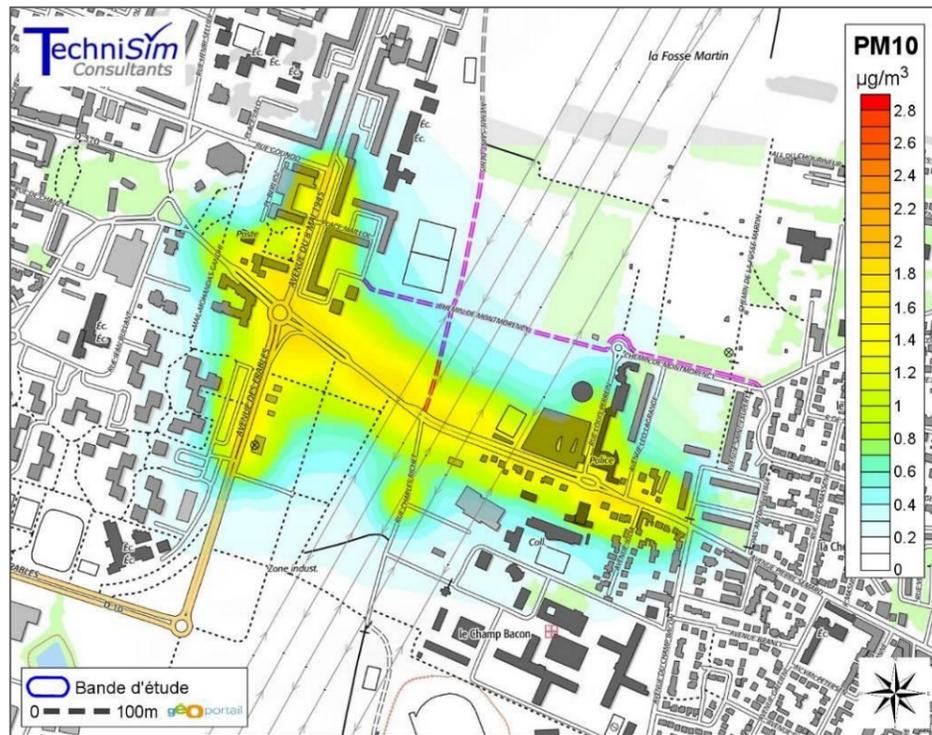


Figure 16 : Horizon 2018 Actuel – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10

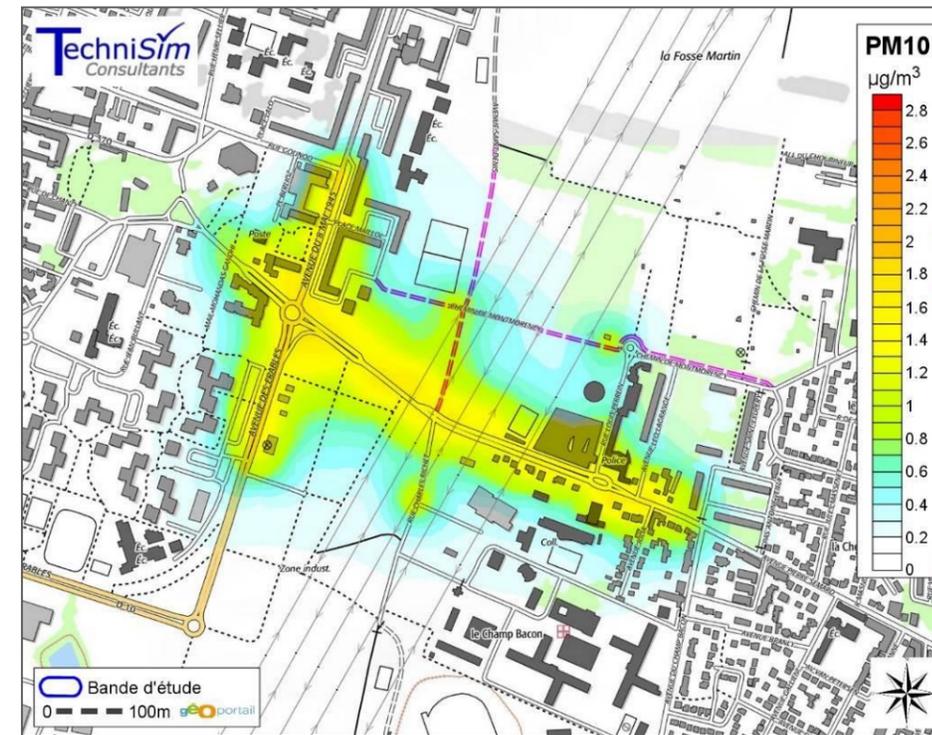


Figure 18 : Horizon 2022 Projet – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10

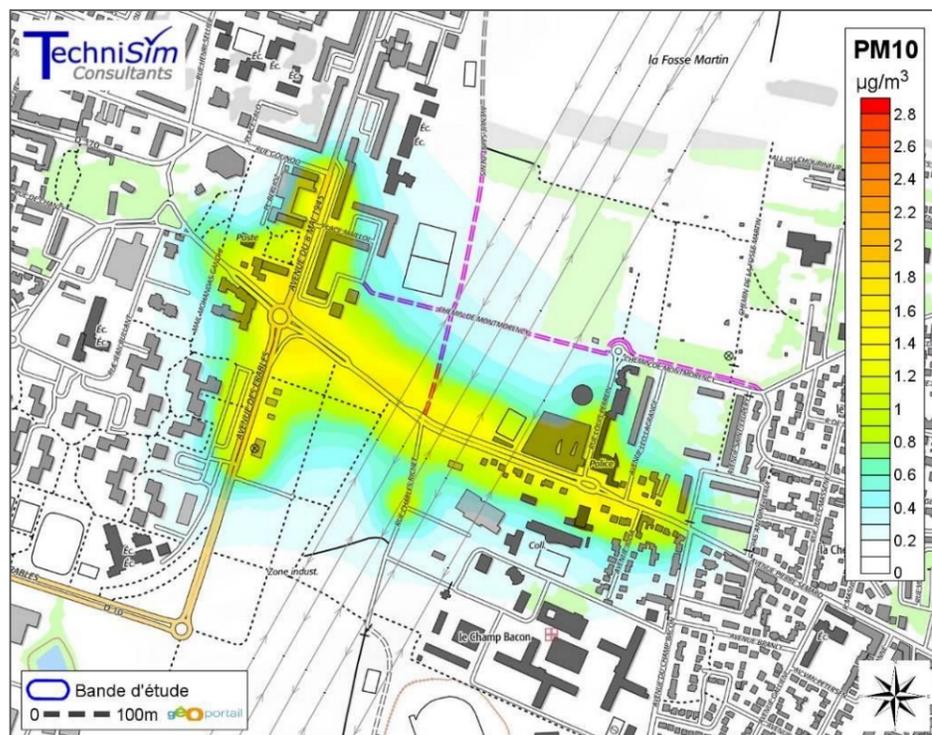


Figure 17 : Horizon 2022 Fil de l'eau – concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) moyenne annuelle en PM10

❖ Autres polluants réglementés

Pour chacun de ces composés, les concentrations obtenues sont très inférieures aux normes de la qualité de l'air (Cf. tableau page suivante), et cela, pour tous les scénarios simulés.

Les modifications de trafic liées aux projets ne provoquent pas de dégradation significative de la qualité de l'air.

Tableau 14 : Tableau récapitulatif des normes de la qualité de l'air mentionnées dans la réglementation française

Polluants	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuil d'alerte	Niveau critique	Valeur cible
Benzène	Moyenne annuelle : 5 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle : 2 µg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Dioxyde de soufre	Moyenne journalière : 125 µg/m <sup>3</sup> (3 dépassements autorisés)	Moyenne annuelle : 50 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire : 300 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne horaire sur 3 heures consécutives : 500 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle et hivernale : 20 µg/m <sup>3</sup>	-
	Moyenne horaire : 350 µg/m <sup>3</sup> (24 dépassements autorisés)	-	-	-	-	-
Plomb	Moyenne annuelle : 0,5 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle : 0,25 µg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-
Monoxyde de carbone	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures : 10 000 µg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-
Arsenic	-	-	-	-	-	Moyenne annuelle : 0,006 µg/m <sup>3</sup>
Cadmium	-	-	-	-	-	Moyenne annuelle : 0,005 µg/m <sup>3</sup>
Nickel	-	-	-	-	-	Moyenne annuelle : 0,020 µg/m <sup>3</sup>
Benzo-(a)-pyrène	-	-	-	-	-	Moyenne annuelle : 0,001 µg/m <sup>3</sup>

#### 5.4. CONCLUSION DE L'IMPACT DU PROJET SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

D'une manière générale, le projet va entraîner une modification minimale des flux de véhicules sur le domaine d'étude. Cela ne va pas engendrer de dégradation importante de la qualité de l'air. En effet, les améliorations des motorisations et des systèmes épuratifs vont permettre une diminution des émissions et des concentrations de polluants atmosphériques par rapport à 2018.

**En définitive, pour tous les polluants étudiés, les concentrations respectent les valeurs seuils réglementaires.**

## 6. EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LA SANTÉ

### 6.1. EFFETS GÉNÉRAUX

De nombreuses études épidémiologiques, dont celles pilotées par l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), mettent en évidence une relation entre pollution de l'air et santé dans les grandes agglomérations. Le risque existe à partir de faibles niveaux de pollution. Par ailleurs, il existe de fortes présomptions d'existence de relation synergique entre les allergènes, en particulier les pollens et les polluants atmosphériques. Egalement, les effets sanitaires de la pollution de l'air varient selon les individus.

Les sujets les plus sensibles sont ainsi :

- Les enfants, dont le système respiratoire en pleine évolution est davantage sensible aux agressions ;
- Les personnes âgées qui présentent des défenses immunitaires plus faibles et souvent des fragilités du système respiratoire et cardiovasculaire ;
- Les sujets atteints de troubles cardiovasculaires ou respiratoires (asthme, rhinite allergique, bronchite chronique) ;
- Les sujets en activité physique intense (sport ou travaux) qui respirent 5 à 15 fois plus qu'un individu au repos et s'exposent ainsi à des quantités supérieures de polluants.

Les gaz et particules émis lors de la combustion du carburant présentent individuellement pour l'homme un risque toxicologique qui est relativement connu pour la plupart d'entre eux. Cependant, afin de définir le risque toxicologique des émissions automobiles à l'égard de la santé humaine, il faut considérer un ensemble, c'est à dire étudier la composition chimique d'un mélange gaz/particules et analyser la toxicité, l'interaction et les synergies des éléments qui le composent. Les connaissances dans ce domaine sont moins développées. Les paragraphes ci-dessous présentent les effets sanitaires des principaux polluants de l'air, à savoir : les oxydes d'azote [NOx], les particules [PM], le monoxyde de carbone [CO], les composés organiques volatils [COV], le benzène, le dioxyde de soufre [SO<sub>2</sub>] et les métaux lourds.

#### ❖ Les oxydes d'azotes (NOx)

Les principaux effets des oxydes d'azote sur la santé humaine se manifestent par une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et des troubles de l'immunité du système respiratoire.

Les oxydes d'azote sont des gaz très irritants. Ils pénètrent profondément dans l'arbre bronchique entraînant toux, irritations, étouffements, sensibilisation des bronches aux infections microbiennes, changements fonctionnels (baisse de l'oxygénation)...

La relation entre les NOx et les descripteurs sanitaires (mortalité, morbidité...) est difficile à établir et à mettre en évidence car leur teneur est fortement corrélée avec celle des autres polluants.

#### ❖ Les particules (PM)

Les particules peuvent irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire (surtout chez l'enfant et les personnes sensibles). Plus une particule est fine, plus sa toxicité potentielle est élevée.

Les particules de taille inférieure à 10 µm (particules inhalables PM10) peuvent entrer dans les poumons mais sont retenues par les voies aériennes supérieures, tandis que les particules de taille inférieure à 2,5 µm pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire et peuvent atteindre les alvéoles pulmonaires. Selon l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), les particules dites « ultra fines » (diamètre particulaire inférieur à 0,1 µm) sont suspectées de provoquer des effets néfastes sur le système cardiovasculaire.

La taille des particules et la profondeur de leur pénétration dans les poumons déterminent la vitesse d'élimination des particules. Sur un même laps de temps (24 heures), plus de 90 % des particules supérieures à 6 µm sont éliminées, alors que seulement moins de 30 % des particules inférieures à 1 µm le sont.

L'une des propriétés les plus dangereuses des poussières est de fixer des molécules gazeuses irritantes ou toxiques présentes dans l'atmosphère (par exemple, des sulfates, des métaux lourds, des hydrocarbures). Ainsi, les particules peuvent avoir des conséquences importantes sur la santé humaine et être responsables de maladies pulmonaires chroniques de type asthme, bronchite, emphysemes (les alvéoles pulmonaires perdent de leur élasticité et se rompent) et pleurésies (inflammation de la plèvre, la membrane qui enveloppe chacun de nos poumons). Ces effets (irritations des voies respiratoires et/ou altérations de la fonction respiratoire) s'observent même à des concentrations relativement basses. Certaines particules ont aussi des propriétés mutagènes et cancérogènes (particules diesel).

En octobre 2013, le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC) a classé les particules issues des moteurs diesel comme étant cancérogènes pour l'homme (Groupe 1), sur la base d'indications suffisantes prouvant qu'une telle exposition est associée à un risque accru de cancer du poumon.

Les études publiées à ce jour permettent de dresser le tableau suivant pour les effets aigus des particules :

- Les particules plus grandes que les PM10 n'ont, pour ainsi dire, aucun effet.
- Les particules grossières (différence massique estimée entre les PM10 et les PM2,5 ou entre les PM10 et les PM1), tout comme les particules fines (dont la masse estimée se situe à PM2,5 ou PM1) ou encore les particules ultrafines (estimées en nombre, pour les tailles inférieures à 0,1 µm) ont des incidences sur la mortalité et la morbidité. Leurs effets sont largement indépendants les uns des autres.

Volet Air et Santé

- La fraction grossière des PM10 est plus fortement corrélée avec la toux, les crises d'asthme et la mortalité respiratoire, alors que les fractions fines ont une incidence plus forte sur les dysfonctionnements du rythme cardiaque ou sur l'augmentation de la mortalité cardio-vasculaire. Mais les effets des particules fines ne s'expliquent pas uniquement par ceux des particules ultrafines, pas plus que les effets des particules grossières ne s'expliquent par ceux des particules fines.
- Compte tenu des concentrations et des variations que l'on rencontre habituellement aujourd'hui, les fractions grossières, fines et ultrafines ont des effets de même importance.
- Les effets sur la mortalité respiratoire sont ressentis immédiatement ou le jour suivant l'exposition à une forte charge en particules. Les effets sur la mortalité cardio-vasculaire se manifestent le plus fortement après 4 jours environ. Cela signifie que l'effet des particules grossières est senti immédiatement ou très rapidement après l'exposition et que celui des particules fines et ultrafines l'est de manière un peu différée (jusqu'à 4 jours après l'accroissement de la charge). Par ailleurs, si le risque relatif est plus grand pour la mortalité respiratoire, la mortalité cardio-vasculaire fait davantage de victimes.
- Les personnes souffrant d'affections des voies aériennes inférieures, d'insuffisance cardiaque et les personnes de plus de 65 ans présentent un risque accru.
- Les effets ont été démontrés par des études épidémiologiques, toxicologiques et cliniques.

Les études publiées à ce jour permettent de dresser le tableau suivant pour les effets chroniques des particules sur la santé :

- Les effets chroniques sont plus importants que les effets aigus ;
- Les études épidémiologiques ont démontré la corrélation entre de fortes charges en PM10, en PM2,5 ou en sulfates, et une mortalité ou une morbidité accrue ;
- Le carbone élémentaire (suie de diesel) présente un fort potentiel cancérogène ;
- Il n'existe pas (encore) d'étude concluante qui fasse la différence entre les effets chroniques des particules grossières, ceux des particules fines et ceux des particules ultrafines en matière de mortalité et de morbidité.

#### ❖ Le monoxyde de carbone (CO)

Le monoxyde de carbone provoque des hypoxies (baisse de l'oxygénation du sang) car il se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine. Il provoque également des céphalées, des troubles du comportement, des vomissements (c'est un neurotoxique), des troubles sensoriels (vertiges). C'est également un myocardiotoxique.

En se fixant sur l'hémoglobine du sang, le monoxyde de carbone forme une molécule stable, la carboxyhémoglobine, entraînant une diminution de l'oxygénation cellulaire qui est nocive pour le système nerveux central, le cœur et les vaisseaux sanguins.

❖ **Les composés organiques volatils (COV)**

Ces composés proviennent d'une mauvaise combustion des produits pétroliers (carburants) et de l'évaporation des carburants.

Les effets sont très divers selon les polluants : ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation des yeux (aldéhydes), voire une diminution de la capacité respiratoire, jusqu'à des effets mutagènes et cancérogènes (comme le benzène).

❖ **Le benzène (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)**

Deux cas d'intoxication peuvent être observés : intoxication par ingestion et intoxication par inhalation.

L'intoxication par ingestion se caractérise par des troubles digestifs, des troubles neurologiques pouvant aller jusqu'au coma et une pneumopathie d'inhalation.

Notons qu'en application cutanée, le benzène est irritant.

Lors d'une intoxication par inhalation, on observe des symptômes neurologiques tels que des troubles de conscience, de l'ivresse, puis de la somnolence pouvant mener à un coma, des convulsions à très hautes doses.

Ces symptômes apparaissent à des concentrations variables selon les individus :

- A 25 ppm, pas d'effet ;
- De 50 à 100 ppm, apparaissent céphalées et asthénie ;
- A 500 ppm, les symptômes sont plus accentués ;
- A 3 000 ppm, la tolérance est seulement pendant 30 à 60 minutes ;
- A 20 000 ppm, la mort survient en 5 à 15 minutes.

❖ **Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)**

Le dioxyde de soufre altère la fonction respiratoire de l'enfant et exacerbe les gênes respiratoires. De même, il trouble l'immunité du système respiratoire, abaisse le seuil de déclenchement chez le sujet asthmatique. C'est un cofacteur de la bronchite chronique.

Le dioxyde de soufre est un gaz très soluble. Il est ainsi absorbé à 85-99 % par les muqueuses du nez et du tractus respiratoire supérieur. Une faible fraction se fixe sur les particules carbonées et atteint donc les voies respiratoires inférieures. Il accentue l'intensité du bronchospasme chez les sujets asthmatiques.

❖ **Le plomb (Pb)**

De manière générale, les métaux lourds ont la propriété de s'accumuler dans l'organisme ce qui implique dans le long terme d'éventuelles propriétés cancérogènes.

Le plomb est un toxique neurologique, rénal et sanguin.

On distingue deux types d'intoxication au plomb : intoxication après inhalation (poussières ou fumées) ou intoxication par ingestion (régurgitation ou problème d'hygiène cutanée).

❖ **Le cadmium (Cd)**

Le cadmium est l'un des rares éléments n'ayant aucune fonction connue dans le corps humain. Les deux principales voies d'absorption sont l'inhalation et l'ingestion. Il peut provoquer des lésions des voies respiratoires et du rein. Les composés de cadmium sont également cancérogènes.

## 6.2. INDICE POLLUTION POPULATION [IPP]

L'Indice Pollution Population [IPP] est un indicateur permettant d'apprécier l'exposition relative de la population à la pollution afin de comparer les scénarios étudiés. Pour autant, cet outil ne reflète pas l'exposition absolue de la population à la pollution atmosphérique.

### 6.2.1. Méthodologie

L'Indice Pollution Population [IPP] repose sur le croisement des densités de population avec les concentrations en polluants.

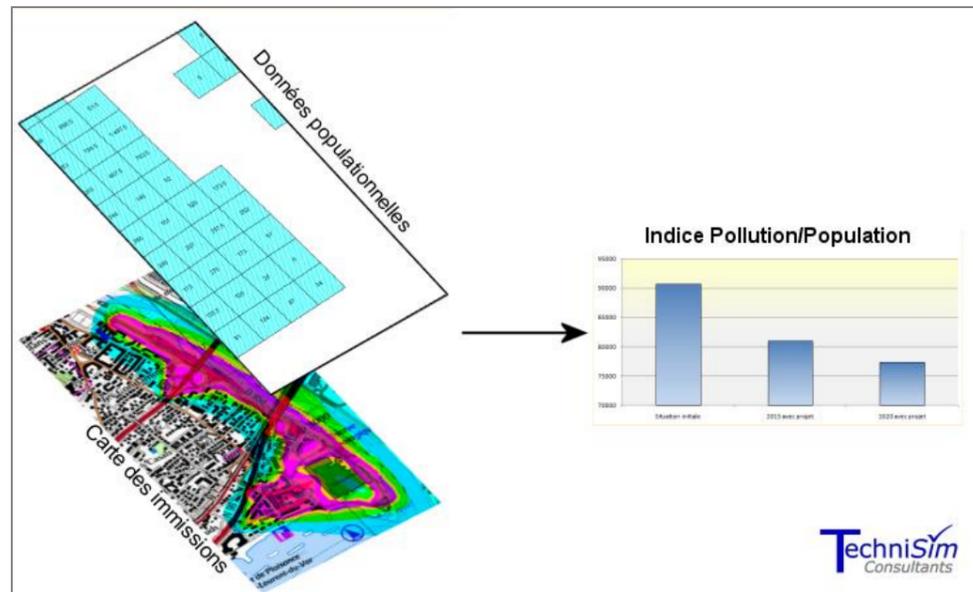


Figure 19 : Schéma conceptuel de la construction de l'IPP

Les polluants « traceurs » utilisés pour calculer cet indice sont les suivants :

- Le dioxyde d'azote [NO<sub>2</sub>] — Puisqu'il s'agit d'un composé rejeté principalement par le trafic routier ;
- Le benzène [C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>] — Pour ses critères de toxicité de santé publique ;
- Les particules PM10 — Polluant majeur du trafic routier aux effets sanitaires importants.

L'IPP est calculé au niveau des zones d'habitation à partir des données de l'INSEE (données carroyées – mailles de 200 mètres).

### 6.2.2. Résultats

Pour davantage de clarté, les résultats de ces opérations sont reportés dans le tableau et la figure ci-après.

Tableau 15 : Indice Pollution Population

	Indice Pollution Population		
	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<b>IPP NO<sub>2</sub></b>	21 949	15 212 <i>-31% par rapport à 2018</i>	17 918 <i>-18 % par rapport à 2018</i>
<b>IPP C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>	69	55 <i>-21 % par rapport à 2018</i>	64 <i>-7 % par rapport à 2018</i>
<b>IPP PM10</b>	3 428	3 151 <i>-8 % par rapport à 2018</i>	3 705 <i>+8 % par rapport à 2018</i>

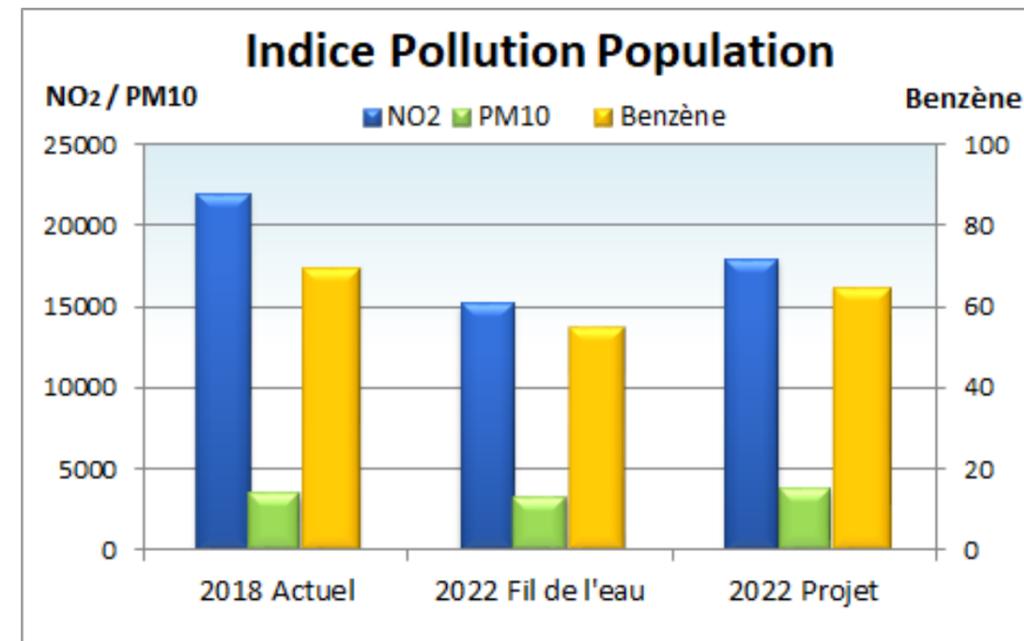


Figure 20 : Indice pollution population – Dioxyde d'azote et benzène

Pour le dioxyde d'azote et le benzène, l'indice IPP diminue pour les scénarios futurs par rapport à l'état actuel du fait de la baisse des émissions du trafic routier. En revanche, pour les particules PM10, la diminution des concentrations ne suffit pas à compenser l'augmentation de population due au projet. Il en résulte un indice pollution/population supérieur de +8 % pour le scénario avec projet par rapport à la situation actuelle.

### 6.3. ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES [EQRS]

Conformément à la circulaire interministérielle DGS/SD 7B n°2005-273 du 25 février 2005, la réalisation des EQRS sera effectuée uniquement au niveau des sites sensibles pour les études de niveau II.

La démarche d'EQRS a été proposée pour la première fois en 1983 par l'Académie des Sciences (National Research Council) aux États-Unis. La définition classiquement énoncée souligne qu'elle repose sur « l'utilisation de faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou à des situations dangereuses ».

L'objectif de la démarche est l'identification et l'estimation des risques pour la santé de populations vivant des situations environnementales dégradées (que cela provienne du fait des activités humaines ou bien du fait des activités naturelles).

L'EQRS permet de calculer soit un pourcentage de population susceptible d'être touchée par une pathologie, soit un nombre de cas attendus de maladie. L'impact sanitaire peut ainsi être déterminé.

L'EQRS est menée selon :

- Le guide de l'InVS de 2007 "Estimation de l'impact sanitaire d'une pollution environnementale et évaluation quantitative des risques sanitaires" ;
- Le guide de l'INERIS 2003 sur l'Évaluation des Risques Sanitaires dans les études d'impact des ICPE ;
- La circulaire DGS/SD 7B n° 2006-234 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact.

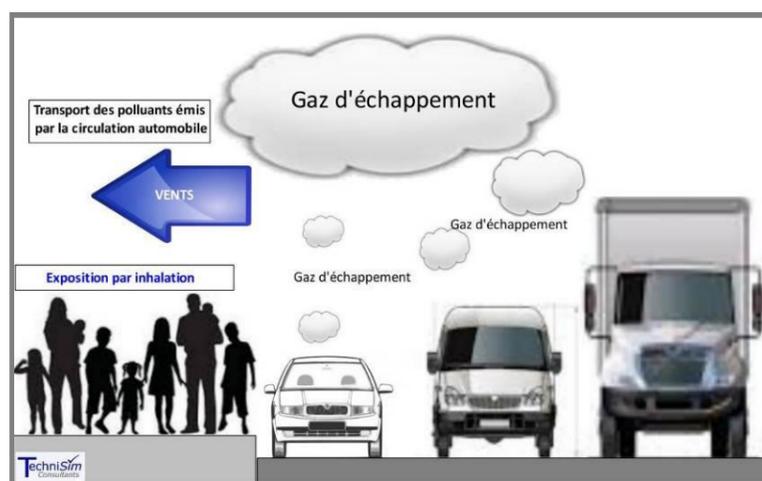


Figure 21 : Schéma conceptuel de la démarche d'une ERS

#### 6.3.1. Hypothèses de travail retenues

Les données utilisées proviennent de la simulation numérique de la dispersion atmosphérique des émissions générées par le trafic ;  
La voie d'exposition privilégiée dans le cas présent est l'inhalation.

#### 6.3.2. Contenu et démarche de l'EQRS

Conventionnellement, une EQRS est constituée de quatre étapes qui sont les suivantes :

- l'identification des dangers (sélection des substances selon les connaissances disponibles) ;
- la définition des relations doses-réponses (sélection des valeurs toxiques de référence pour chaque polluant considéré) ;
- l'évaluation des expositions des populations aux agents dangereux identifiés selon les voies, niveaux et durées d'exposition correspondants ;
- la caractérisation des risques sanitaires via le calcul des indices sanitaires.

Actuellement, dans le vocabulaire européen, les deux premières étapes sont souvent rassemblées en une phase unique appelée « caractérisation des dangers ».

Remarque : Il convient de bien distinguer le 'danger' du 'risque'. Le danger d'un agent physique, chimique ou biologique correspond à l'effet sanitaire néfaste ou indésirable qu'il peut engendrer sur un individu lorsqu'il est mis en contact avec celui-ci, alors que le risque correspond à la probabilité de survenue d'un effet néfaste indépendamment de sa gravité.

#### ❖ Étape n° 1 : L'identification des dangers

L'étape d'identification des dangers consiste à connaître les dangers ou le potentiel dangereux des agents chimiques considérés, associés aux voies d'exposition retenues [InVS, 2000]. Cela consiste en une synthèse des connaissances scientifiques disponibles à l'instant de l'étude débouchant sur un bilan de ce que l'on sait, de ce que l'on ignore et de ce qui est incertain.

On distingue les effets selon plusieurs critères. La toxicité d'une substance peut être qualifiée :

- d'**aiguë** : manifestation de l'effet à court terme, de l'administration d'une dose unique de substance ;
- de **subchronique** : manifestation de l'effet de l'administration répétée d'une substance, pendant une période de 14 jours à 3 mois ;
- de **chronique** : manifestation de l'effet de l'administration répétée d'une substance, pendant une période supérieure à 3 mois.

Par ailleurs, une substance peut avoir des effets distincts selon son mode d'exposition, c'est-à-dire selon qu'elle est inhalée ou ingérée (les organes en contact étant bien sûr différents).

Au niveau des effets, on distingue les effets selon qu'ils sont « à seuil » ou « sans seuil » :

- **Les effets toxiques « à seuils »** correspondent aux effets aigus et aux effets chroniques non cancérogènes, non génotoxiques et non mutagènes. On admet qu'il existe une dose limite au-dessous de laquelle le danger ne peut apparaître. La valeur toxique de référence [VTR] correspond alors à cette valeur. Pour ce type d'effet, la gravité est proportionnelle à la dose.
- **Les effets toxiques « sans seuils »** correspondent pour l'essentiel à des effets cancérogènes génotoxiques et des mutations génétiques, pour lesquels la fréquence - et non la gravité - est proportionnelle à la dose. L'approche probabiliste conduit à considérer qu'il existe un risque, infime mais non nul, qu'une seule molécule pénétrant dans le corps provoque des changements dans une cellule à l'origine d'une lignée cancéreuse. La VTR est alors un Excès de Risque Unitaire (ERU) de cancer.

À la suite de ces recherches, quelques substances seulement sont retenues pour l'EQRS. Dans le présent cas, les polluants retenus sont issus du rapport du groupe de travail constitué de la Direction des routes (Ministère chargé de l'équipement), la Direction générale de la santé (Ministère chargé de la santé publique), la Direction de la prévention des pollutions et des risques et la Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale (Ministère chargé de l'environnement).

#### ❖ Étape n° 2 : L'estimation de la dose-réponse

Cette étape permet d'estimer le risque en fonction de la dose. En toxicologie animale ou en épidémiologie, les effets sont généralement connus en ce qui concerne de hautes doses (expérimentations contrôlées, expositions professionnelles, accidentelles). Or, pour connaître les risques encourus à basses doses, telles qu'elles sont présentes dans notre environnement, il est nécessaire d'extrapoler les risques observés (c'est-à-dire des hautes doses vers les basses doses) à partir de l'étude de la relation dose-effet. Cette relation s'étudie notamment grâce à des méthodes statistiques, épidémiologiques, toxicologiques et pharmacologiques et en particulier de la modélisation mathématique. Cela permet de définir des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) qui traduisent le lien entre la dose de la substance toxique et l'occurrence ou la sévérité de l'effet étudié dans la population.

Le calcul des VTR est différent selon le danger considéré. Il s'effectue :

- Par une approche déterministe lorsqu'il s'agit des effets "avec seuil" ;
- Par une approche probabiliste lorsqu'il s'agit des effets "sans seuil".

Pour les effets à seuils, la VTR correspond à la dose en dessous de laquelle le ou les effets néfastes n'apparaissent pas. Cette dose est calculée à partir de la dose expérimentale reconnue comme la plus faible sans effet (dose dite 'NOEL' pour No Observed Effect Level) et d'une série de facteurs de sécurité. Ces facteurs de sécurité prennent en compte différentes incertitudes comme en particulier les difficultés de transposition de l'animal à l'homme (variabilité intra et inter-espèces), les durées d'exposition, la qualité des données, etc.

La VTR est alors calculée mathématiquement par division de la dose NOEL par le produit des différents facteurs de sécurité pris en compte.

La VTR prend ainsi la forme d'une Dose Journalière Admissible [DJA] dans le cas de l'ingestion (exprimée en mg/kg/j) et de la voie cutanée, ou bien d'une Concentration Maximale Admissible [CMA] dans le cas de l'exposition respiratoire (exprimée en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En dessous de ce seuil de dose, la population est considérée comme protégée.

Pour les effets sans seuils, la VTR est alors un Excès de Risque Unitaire [ERU] de cancer. L'ERU est calculé soit à partir d'expérimentations chez l'animal, soit d'études épidémiologiques chez l'homme. Cette valeur est le résultat des extrapolations des hautes doses aux basses doses à travers des modèles mathématiques. L'approche probabiliste conduit à considérer qu'il existe un risque, infime mais non nul, qu'une seule molécule pénétrant dans le corps provoque des changements dans une cellule à l'origine d'une lignée cancéreuse.

Concernant la voie respiratoire, l'ERU est l'inverse d'une concentration dans l'air et s'exprime en  $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ . Il représente la probabilité individuelle de développer un cancer pour une concentration de produit toxique de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans l'air inhalé par un sujet pendant toute sa vie.

La sélection des VTR pour chaque substance s'effectue à partir du logigramme ci-après.

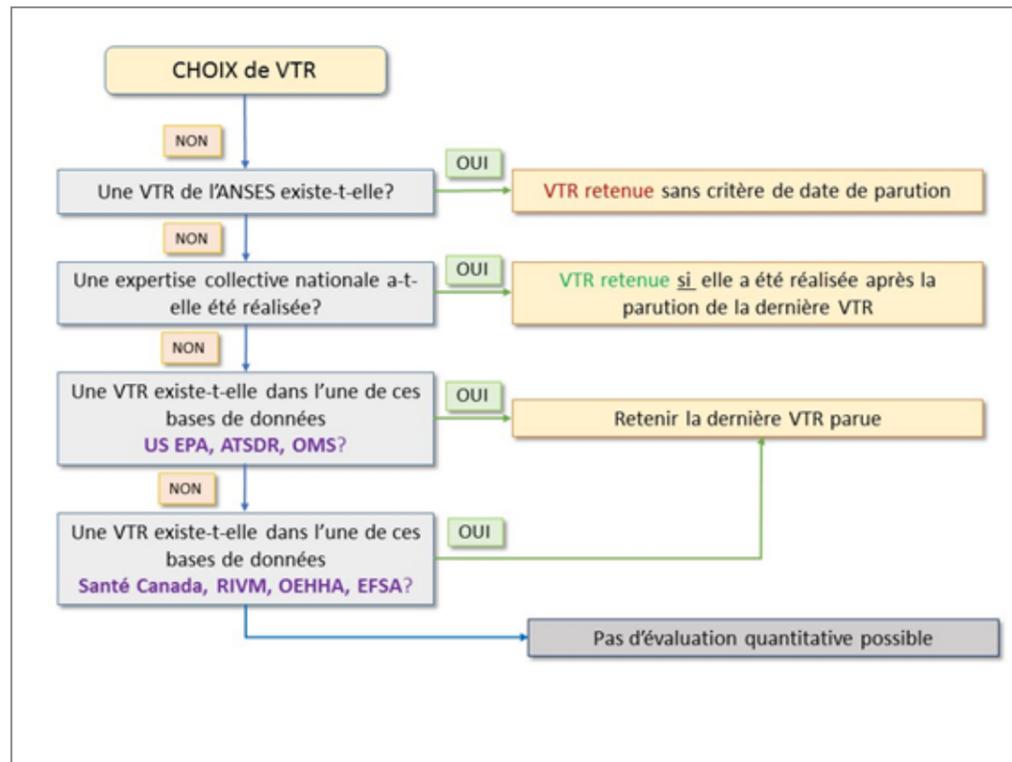


Figure 22 : Logigramme – Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Les VTR retenues pour l'étude des risques sanitaires sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 16 : Valeurs toxicologiques de référence des substances considérées pour l'étude pour les effets à seuil

Substances	N°CAS	Voie d'exposition (durée)	Effet(s) critique(s)	VTR	Unité	Facteur d'incertitude	Source	Année de révision	Justification du choix de la VTR
<b>Composés organiques volatils et HAP</b>									
<i>Acétaldéhyde</i>	75-07-0	Inhalation chronique)	Dégénérescence de l'épithélium olfactif	<b>160,0</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	75	Anses	2014	VTR de l'ANSES
<i>Acroléine</i>	107-02-8	Inhalation (chronique)	Lésions de l'épithélium respiratoire	<b>0,35</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	100	OEHHA	2007	Dernière VTR parue
<i>Benzène</i>	71-43-2	Inhalation (chronique)	Diminution du nombre des lymphocytes	<b>0,003</b>	[ppm]	10	ATSDR	2007	Dernière VTR parue et facteur d'incertitude le plus faible
				<b>9,75</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]				
<i>1,3-Butadiène</i>	106-99-0	Inhalation (chronique)	Atrophie ovarienne	<b>2,0</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	1 000	US EPA	2002 b	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Formaldéhyde</i>	50-00-0	Inhalation (chronique)	Irritations oculaires et nasales et des lésions histologiques de l'épithélium nasal (rhinite, métaplasie squameuse, dysplasie)	<b>9,0</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	10	OEHHA	2008	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Benzo(a)pyrène</i>	50-32-8	Inhalation (chronique)	<b>Aucune VTR disponible</b>						
<b>Métaux</b>									
<i>Arsenic</i>	7440-38-2	Inhalation (chronique)	Effets neurologiques et troubles du comportement	<b>0,015</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	Extrapolation	OEHHA	2008	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Baryum</i>	7440-39-3	Inhalation (chronique)	Non précisé	<b>1,0</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	Non précisé	RIVM	2007	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Cadmium</i>	7440-43-9	Inhalation (chronique)	Augmentation de 5% atteinte tubulaire dans la population générale Effets cancérogènes	<b>0,45</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	Non précisé	ANSES	2012	VTR de l'ANSES
				<b>0,30</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]				
<i>Chrome VI</i>	7440-47-3	Inhalation (chronique)	<b>Particulaires</b> - Modifications des niveaux de lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage bronchioloalvéolaire	<b>0,1</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	300	US EPA	1998	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Mercure</i>	7439-97-6	Inhalation (chronique)	Troubles de la mémoire et de la motricité	<b>0,03</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	300	OEHHA	2008	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Nickel</i>	7440-02-0	Inhalation (chronique)	Lésions pulmonaires	<b>0,09</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	30	ATSDR	2005	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Plomb</i>	7439-92-1	Inhalation (chronique)	Effets systémiques neurologiques ou hématologiques	<b>0,5</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	-	OMS	2002	VTR recommandée par l'INERIS
<b>Autres polluants</b>									
<i>Particules diesel</i>	-	Inhalation (chronique)	Irritations des voies respiratoires et effets cardiovasculaires	<b>5,0</b>	[µg/m <sup>3</sup> ]	30	US EPA	2003	Seule VTR disponible
<i>Particules PM10</i>	-	Inhalation (chronique)	<b>Aucune VTR disponible</b>						
<i>Particules PM2,5</i>	-	Inhalation (chronique)	<b>Aucune VTR disponible</b>						
<i>Dioxyde d'azote</i>	10102-44-0	Inhalation (chronique)	<b>Aucune VTR disponible</b>						
<i>Dioxyde de soufre</i>	7446-09-5	Inhalation (chronique)	<b>Aucune VTR disponible</b>						
<i>Monoxyde de carbone</i>	630-08-0	Inhalation (chronique)	<b>Aucune VTR disponible</b>						

Tableau 17 : Valeurs toxicologiques de référence des substances considérées pour l'étude pour les effets sans seuil

Substances	N°CAS	Voie d'exposition	Organe(s) cible(s)/Effet(s) critique(s)	VTR	Unité	Source	Année de révision	Justification du choix de la VTR
<b>Composés organiques volatils et HAP</b>								
<i>Acétaldéhyde</i>	75-07-0	Inhalation	Augmentation de l'incidence des adénocarcinomes et des carcinomes des cellules squameuses de la cloison nasale	<b>2,20E-06</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	US EPA	1991	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Acroléine</i>	107-02-8	Inhalation	<b>Aucune VTR disponible</b>					
<i>Benzène</i>	71-43-2	Inhalation	Leucémies aiguës	<b>2,60E-05</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	ANSES	2013	VTR de l'ANSES
<i>1,3-Butadiène</i>	106-99-0	Inhalation	Tumeurs pulmonaires (bronchiolaires et alvéolaires)	<b>1,70E-04</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	OEHHA	2005	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Formaldéhyde</i>	50-00-0	Inhalation	Carcinomes au niveau des cavités nasales	<b>6,00E-06</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	OEHHA	2005	Dernière VTR parue
<i>Benzo(a)pyrène</i>	50-32-8	Inhalation	Incidence des tumeurs (type non spécifié) du tractus respiratoire supérieur (cavités nasales, larynx et trachée)	<b>1,10E-03</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	OEHHA	2005	Dernière VTR parue
<b>Métaux</b>								
<i>Arsenic</i>	7440-38-2	Inhalation	Cancers pulmonaires	<b>4,30E-03</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	US EPA	1998	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Baryum</i>	7440-39-3	Inhalation	<b>Aucune VTR disponible</b>					
<i>Cadmium</i>	7440-43-9	Inhalation	Cancers de l'appareil respiratoire	<b>4,20E-03</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	OEHHA	2005	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Chrome VI</i>	7440-47-3	Inhalation	Cancers pulmonaires	<b>4,00E-02</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	OMS	2000	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Mercure</i>	7439-97-6	Inhalation	<b>Aucune VTR disponible</b>					
<i>Nickel</i>	7440-02-0	Inhalation	Cancers pulmonaires	<b>3,80E-04</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	OMS	2000	VTR recommandée par l'INERIS
<i>Plomb</i>	7439-92-1	Inhalation	Tumeurs rénales	<b>1,20E-05</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	OEHHA	2005	Seule VTR disponible
<b>Autres polluants</b>								
<i>Particules diesel</i>	-	Inhalation	Cancers pulmonaires	<b>3,40E-05</b>	[µg/m <sup>3</sup> ] <sup>-1</sup>	OMS	1996	Seule VTR disponible
<i>Particules PM10</i>	-	Inhalation	<b>Aucune VTR disponible</b>					
<i>Particules PM2,5</i>	-	Inhalation	<b>Aucune VTR disponible</b>					
<i>Dioxyde d'azote</i>	10102-44-0	Inhalation	<b>Aucune VTR disponible</b>					
<i>Dioxyde de soufre</i>	7446-09-5	Inhalation	<b>Aucune VTR disponible</b>					
<i>Monoxyde de carbone</i>	630-08-0	Inhalation	<b>Aucune VTR disponible</b>					

❖ **Étape n°3 : Évaluation des expositions**

L'exposition d'une population à une substance toxique dépend de deux facteurs :

- La concentration de la substance dans les compartiments environnementaux et son comportement physico-chimique ;
- Les voies et conditions d'exposition des individus en contact avec cette substance.

En pratique, à partir des rejets du trafic, il s'agit d'établir un schéma décrivant les voies de passage des polluants depuis les différents compartiments environnementaux jusque vers les populations cibles.

On identifie ensuite les voies de pénétration des polluants dans l'organisme. Celles-ci sont de trois types (ingestion, inhalation et contact cutané). Seule l'inhalation est étudiée dans cette partie.

On identifie également les modes de transfert des polluants dans les différents compartiments environnementaux.

Le devenir d'une substance dépend de ses propriétés physico-chimiques ainsi que des conditions environnementales.

À partir d'un compartiment donné, le composé considéré peut, soit :

- Être dispersé/transporté vers un autre compartiment ;
- Être transformé ;
- S'accumuler.

L'évaluation des expositions se déroule selon plusieurs étapes. Tout d'abord, il est nécessaire de déterminer les niveaux d'exposition à l'aide de mesures réalisées sur site ou à l'aide de la modélisation.

Ensuite, il s'agit de définir pour les cibles et/ou les populations identifiées, ainsi que pour les voies d'exposition identifiées, des scénarios d'exposition cohérents visant à considérer essentiellement : soit les expositions de type chronique, soit les expositions récurrentes ou continues correspondant à une fraction significative de la durée de vie.

Dans la situation étudiée, différents scénarios d'exposition sont considérés :

- **Effets à seuils :**
  - Jeune enfant : ce scénario considère les enfants fréquentant la crèche présente sur le domaine d'étude ; il est considéré que l'enfant vit dans la bande d'étude ;
  - Élève d'école maternelle : ce scénario considère les enfants fréquentant les écoles maternelles situées dans la bande d'étude ; il est considéré que l'enfant vit dans la bande d'étude ;
  - Élève d'école élémentaire : ce scénario considère les enfants fréquentant les écoles élémentaires situées dans la bande d'étude ; il est considéré que l'enfant vit dans la bande d'étude ;

- Collégien : ce scénario considère les enfants fréquentant le collège situé dans la bande d'étude ; il est considéré que l'enfant vit dans la bande d'étude ;
- Sportif : ce scénario concerne les personnes fréquentant les terrains de sport extérieurs situés dans la bande d'étude ; il est considéré que la personne vit et travaille dans la bande d'étude ;
- Retraité : ce scénario concerne les personnes habitant dans la maison de retraite installée dans la bande d'étude ;
- Hospitalisé : ce scénario concerne les personnes hospitalisées en longue durée dans le centre de soins situé sur le domaine d'étude ;

• **Effets sans seuils :**

- Résident : ce scénario concerne les personnes résidant dans la bande d'étude durant leur vie entière (70 ans).

L'étape suivante consiste à estimer les quantités de substance absorbées par les individus du domaine examiné. Pour l'inhalation, la dose journalière est en fait une concentration inhalée. Comme on considère des expositions de longue durée, on s'intéresse à la concentration moyenne inhalée par jour.

Celle-ci se calcule à l'aide de la formule suivante :

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

CI	Concentration moyenne inhalée	[µg/m <sup>3</sup> ]
ti	Fraction du temps d'exposition à la concentration CI pendant une journée	[Sans dimension]
F	Fréquence ou taux d'exposition => nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours	
T	Nombre d'années d'exposition	[années]
Tm	Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée	[années]

Pour les polluants avec effets « à seuils », l'exposition moyenne est calculée sur la durée effective d'exposition, soit T = Tm.

Alors que pour les effets « sans seuils », Tm sera assimilé à la vie entière prise conventionnellement égale à 70 ans.

Les scénarios d'exposition ainsi que les paramètres associés sont présentés dans les tableaux qui vont suivre.

Tableau 18 : Scénario d'exposition « Jeune enfant »

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
Jeune enfant en crèche	La semaine		
	Crèche	10 h/jour – 5 jours/semaine – 47 semaines/an	Concentration relevée sur la crèche située dans la bande d'étude
	Domicile	14 h/jour – 5 jours/semaine – 47 semaines/an 24 h/jour – 5 jours/semaine – 5 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude
	Le week-end		
Domicile	24 h/jour – 2 jours/semaine – 52 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude	

Tableau 20 : Scénario d'exposition « Élève d'école élémentaire »

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
Élève d'école élémentaire	La semaine		
	École élémentaire	9 h/jour – 4 jours/semaine – 36 semaines/an 5 h/jour – 1 jour/semaine – 36 semaines/an	Concentrations maximales relevées sur les écoles élémentaires considérées
	Domicile	15 h/jour – 4 jours/semaine – 36 semaines/an 19 h/jour – 1 jour/semaine – 36 semaines/an 24 h/jour – 5 jours/semaine – 16 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude
	Le week-end		
Domicile	24 h/jour – 2 jours/semaine – 52 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude	

Tableau 19 : Scénario d'exposition « Élève d'école maternelle »

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
Élève d'école maternelle	La semaine		
	École élémentaire	9 h/jour – 4 jours/semaine – 36 semaines/an 5 h/jour – 1 jour/semaine – 36 semaines/an	Concentrations maximales relevées sur les écoles élémentaires considérées
	Domicile	15 h/jour – 4 jours/semaine – 36 semaines/an 19 h/jour – 1 jour/semaine – 36 semaines/an 24 h/jour – 5 jours/semaine – 16 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude
	Le week-end		
Domicile	24 h/jour – 2 jours/semaine – 52 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude	

Tableau 21 : Scénario d'exposition « Collégien »

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
Collégien	La semaine		
	Collège	9 h/jour – 4 jours/semaine – 36 semaines/an 5 h/jour – 1 jour/semaine – 36 semaines/an	Concentration relevée sur le collège considéré
	Domicile	15 h/jour – 4 jours/semaine – 36 semaines/an 19 h/jour – 1 jour/semaine – 36 semaines/an 24 h/jour – 5 jours/semaine – 16 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude
	Le week-end		
Domicile	24 h/jour – 2 jours/semaine – 52 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude	

Tableau 22 : Scénario d'exposition « Sportif » et paramètres considérés

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
Sportif	La semaine		
	Centre de sport	1 h/jour – 5 jours/semaine – 50 semaines /an	Concentrations maximales relevées sur les centres de sport situés dans la bande d'étude
	Domicile	23 h/jour – 5 jours/semaine – 50 semaines /an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude
	Le week-end		
	Centre de sport	3 h/jour – 2 jours/semaine – 50 semaines /an	Concentrations maximales relevées sur les centres de sport situés dans la bande d'étude
Domicile	21 h/jour – 2 jours/semaine – 50 semaines /an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude	

Tableau 23 : Scénario d'exposition « Retraité »

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
Retraité	En continu		
	Maison de retraite	24 h/jour – 7 jours/semaine – 52 semaines/an	Concentration relevée sur la maison de retraite située dans la bande d'étude

Tableau 24 : Scénario d'exposition « Hospitalisé »

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
Hospitalisé	En continu		
	Centre de soin	24 h/jour – 7 jours/semaine – 52 semaines/an	Concentration relevée sur le centre de soin situé dans la bande d'étude

Tableau 25 : Scénario d'exposition « Résident »

Scénario d'exposition	Lieu fréquenté	Durée d'exposition retenue	Concentrations utilisées
Résident	La semaine / le weekend		
	Domicile	24 h/jour – 7 jours/semaine – 50 semaines/an	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude
	Vacances		
	Lieu de vacances	2 semaines/an	Aucune exposition durant ces 2 semaines
	Enfance		
	Établissements scolaires	CF. tableaux précédents	Concentrations maximales relevées sur les établissements scolaires
Domicile	CF. tableaux précédents	Concentrations correspondant au centile 90 des concentrations calculées sur le domaine d'étude	

Pour le scénario résident à vie, il est considéré, de manière conservatrice, que **la personne vit exclusivement dans la bande d'étude**. Il est retenu qu'elle est exposée sans interruption aux teneurs calculées, excepté lors de deux semaines de vacances par an.

❖ **Étape n°4 : Caractérisation des risques**

La caractérisation des risques est réalisée à l'aide du calcul des indices de risques. Ces indices diffèrent selon que l'on examine les effets « à seuil » ou « sans seuil ».

Pour les effets toxiques « à seuils », l'expression déterministe de la survenue d'un effet toxique dépend du dépassement d'une valeur : la Valeur Toxique de Référence [VTR]. On calcule alors un **Quotient de Danger [QD]**, qui correspond au rapport de la dose journalière exposition sur la VTR.

$$QD = CMI/CAA$$

CMI Concentration Moyenne Inhalée [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

CAA Concentration Admissible dans l'Air / concentration de référence [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Lorsque le QD est inférieur à 1, cela signifie que la population exposée est théoriquement hors de danger, et ce, même pour les populations sensibles, compte tenu des facteurs de sécurité utilisés.

Si, au contraire, le QD est supérieur ou égal à 1, cela signifie que l'effet toxique peut se déclarer sans qu'il soit possible de prédire la probabilité de survenue de cet événement.

Pour les effets toxiques sans seuils, on calcule l'excès de risque individuel [ERI] par inhalation, en rapportant l'excès de risque unitaire [ERU] vie entière (conventionnellement 70 ans) à la dose journalière d'exposition [DJE] pour la voie orale ou à la concentration atmosphérique inhalée [CI] pour l'inhalation.

$$\text{ERI} = \text{ERU}_i \times \text{CMI}$$

CMI Concentration Moyenne Inhalée [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

ERU<sub>i</sub> Excès de Risque Unitaire par inhalation [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]<sup>-1</sup>

L'interprétation des résultats s'effectue ensuite par comparaison à des niveaux de risque jugés socialement acceptables. Il n'existe pas bien entendu de seuil absolu d'acceptabilité, mais la valeur de  $10^{-6}$  (soit un cas de cancer supplémentaire sur un million de personnes exposées durant leur vie entière) est considérée aux Etats-Unis comme le seuil de risque négligeable et  $10^{-4}$  comme le seuil de l'inacceptable en population générale.

**En France, l'InVS utilise la valeur de  $10^{-5}$ .** Ce seuil de  $10^{-5}$  est souvent retrouvé dans la définition des valeurs guides de qualité de l'eau de boisson et de qualité de l'air par l'OMS.

Les effets conjugués sont pris en considération dans l'EQRS car les individus sont rarement exposés à une seule substance.

Afin de prendre en considération les effets des mélanges, on procède comme suit :

- Pour les effets à seuils : les QD sont additionnés uniquement pour les substances ayant le même mécanisme d'action toxique sur le même organe cible ;
- Pour les effets sans seuils : la somme des ERI est effectuée, quel que soit l'organe cible.

### 6.3.3. Évaluation de l'indicateur sanitaire pour les effets à seuil : Quotient de danger

Les concentrations inhalées sont calculées sur la base des scénarios d'exposition (durée de vie passée sur le lieu) et des concentrations rencontrées (maximum ou centile 90).

A partir des concentrations inhalées, les quotients de dangers sont ensuite déterminés par polluants et par organes-cibles.

Les quotients de dangers pour chaque type de site sensible sont présentés dans le tableau ci-après.

Il est possible de constater que tous les quotients de danger sont inférieurs à 1 (seuil d'acceptabilité), cela même en les additionnant par organe cible. Par conséquent, et au regard des connaissances actuelles, les effets critiques n'apparaîtront pas *a priori* au sein de la population exposée.

Tableau 26 : Quotients de danger

Seuil d'acceptabilité : 1												
QUOTIENTS de DANGER												
Polluants	Jeune enfant en crèche			Elève en école maternelle			Elève en école élémentaire			Collégien		
	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
Acétaldéhyde	4,23E-05	3,57E-05	3,90E-05	5,06E-05	4,27E-05	4,68E-05	5,06E-05	4,27E-05	4,68E-05	5,57E-05	4,70E-05	5,08E-05
Acroléine	9,88E-03	8,38E-03	9,12E-03	1,18E-02	1,00E-02	1,09E-02	1,18E-02	1,00E-02	1,09E-02	1,30E-02	1,11E-02	1,19E-02
Benzène	8,01E-04	6,34E-04	6,96E-04	9,59E-04	7,59E-04	8,35E-04	9,59E-04	7,59E-04	8,35E-04	1,03E-03	8,16E-04	8,87E-04
1,3-Butadiène	9,97E-04	8,14E-04	8,84E-04	1,19E-03	9,75E-04	1,06E-03	1,19E-03	9,75E-04	1,06E-03	1,30E-03	1,06E-03	1,14E-03
Formaldéhyde	1,43E-03	1,21E-03	1,31E-03	1,71E-03	1,44E-03	1,58E-03	1,71E-03	1,44E-03	1,58E-03	1,88E-03	1,59E-03	1,71E-03
Arsenic	2,30E-05	2,30E-05	2,43E-05	2,78E-05	2,78E-05	2,92E-05	2,78E-05	2,78E-05	2,92E-05	3,08E-05	3,08E-05	3,20E-05
Baryum	6,23E-05	6,23E-05	6,63E-05	7,52E-05	7,52E-05	7,98E-05	7,52E-05	7,52E-05	7,98E-05	8,33E-05	8,33E-05	8,72E-05
Cadmium	9,73E-06	9,62E-06	1,02E-05	1,17E-05	1,16E-05	1,23E-05	1,17E-05	1,16E-05	1,23E-05	1,30E-05	1,29E-05	1,35E-05
Chrome	2,68E-04	2,65E-04	2,80E-04	3,23E-04	3,20E-04	3,37E-04	3,23E-04	3,20E-04	3,37E-04	3,58E-04	3,55E-04	3,70E-04
Mercure	2,12E-04	2,12E-04	3,30E-04	2,57E-04	2,57E-04	4,01E-04	2,57E-04	2,57E-04	4,01E-04	2,84E-04	2,84E-04	4,22E-04
Nickel	1,14E-04	1,13E-04	1,19E-04	1,37E-04	1,36E-04	1,43E-04	1,37E-04	1,36E-04	1,43E-04	1,52E-04	1,51E-04	1,57E-04
Plomb	2,03E-08	1,99E-08	2,12E-08	2,45E-08	2,40E-08	2,54E-08	2,45E-08	2,40E-08	2,54E-08	2,72E-08	2,66E-08	2,79E-08
Particules diesel	1,27E-02	6,63E-03	7,26E-03	1,52E-02	7,93E-03	8,71E-03	1,52E-02	7,93E-03	8,71E-03	1,66E-02	8,67E-03	9,39E-03
Polluants	Sportif			Retraité			Hospitalisé					
	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
Acétaldéhyde	5,02E-05	5,07E-05	5,44E-05	1,93E-05	1,63E-05	1,63E-05	1,85E-05	1,56E-05	1,54E-05			
Acroléine	1,40E-02	1,19E-02	1,27E-02	4,54E-03	3,86E-03	3,86E-03	4,34E-03	3,69E-03	3,66E-03			
Benzène	1,14E-03	9,01E-04	9,71E-04	3,33E-04	2,63E-04	2,61E-04	3,30E-04	2,61E-04	2,57E-04			
1,3-Butadiène	1,42E-03	1,16E-03	1,24E-03	4,35E-04	3,55E-04	3,50E-04	4,25E-04	3,45E-04	3,40E-04			
Formaldéhyde	2,03E-03	1,71E-03	1,83E-03	6,49E-04	5,48E-04	5,47E-04	6,23E-04	5,27E-04	5,21E-04			
Arsenic	3,23E-05	3,23E-05	3,33E-05	1,08E-05	1,08E-05	1,06E-05	1,05E-05	1,05E-05	1,04E-05			
Baryum	8,74E-05	8,74E-05	9,08E-05	2,93E-05	2,93E-05	2,87E-05	2,86E-05	2,86E-05	2,87E-05			
Cadmium	1,36E-05	1,35E-05	1,40E-05	4,67E-06	4,61E-06	4,57E-06	4,49E-06	4,44E-06	4,34E-06			
Chrome	3,75E-04	3,72E-04	3,84E-04	1,26E-04	1,25E-04	1,24E-04	1,22E-04	1,21E-04	1,20E-04			
Mercure	2,91E-04	2,91E-04	4,29E-04	1,48E-04	1,48E-04	1,83E-04	1,34E-04	1,34E-04	1,58E-04			
Nickel	1,59E-04	1,58E-04	1,63E-04	5,34E-05	5,32E-05	5,26E-05	5,18E-05	5,15E-05	5,12E-05			
Plomb	2,85E-08	2,79E-08	2,90E-08	9,83E-09	9,62E-09	9,57E-09	9,39E-09	9,18E-09	8,98E-09			
Particules diesel	1,81E-02	9,42E-03	1,01E-02	5,65E-03	2,94E-03	2,94E-03	5,49E-03	2,86E-03	2,83E-03			

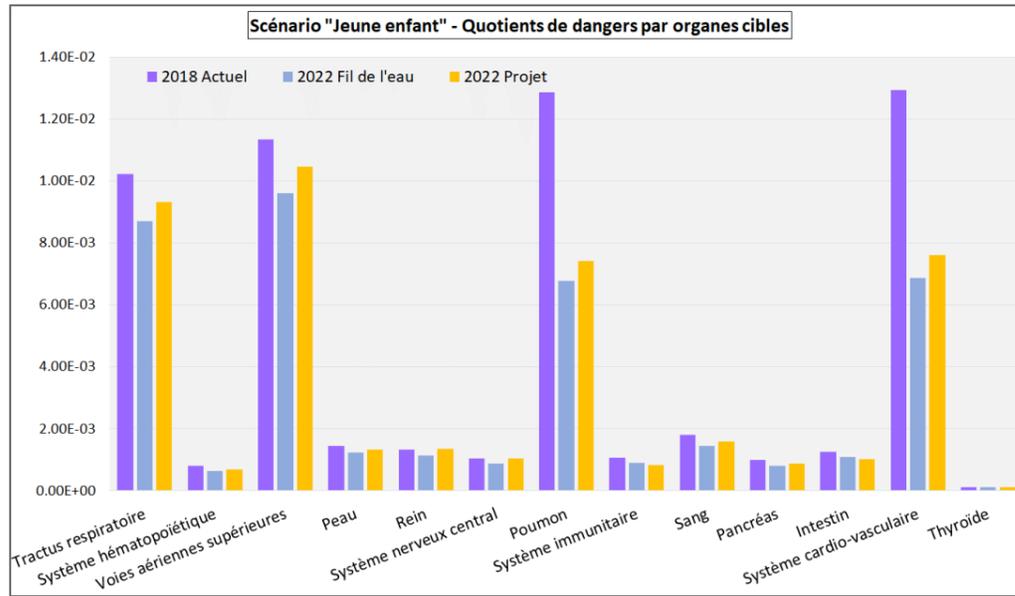


Figure 23 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Jeune enfant en crèche »

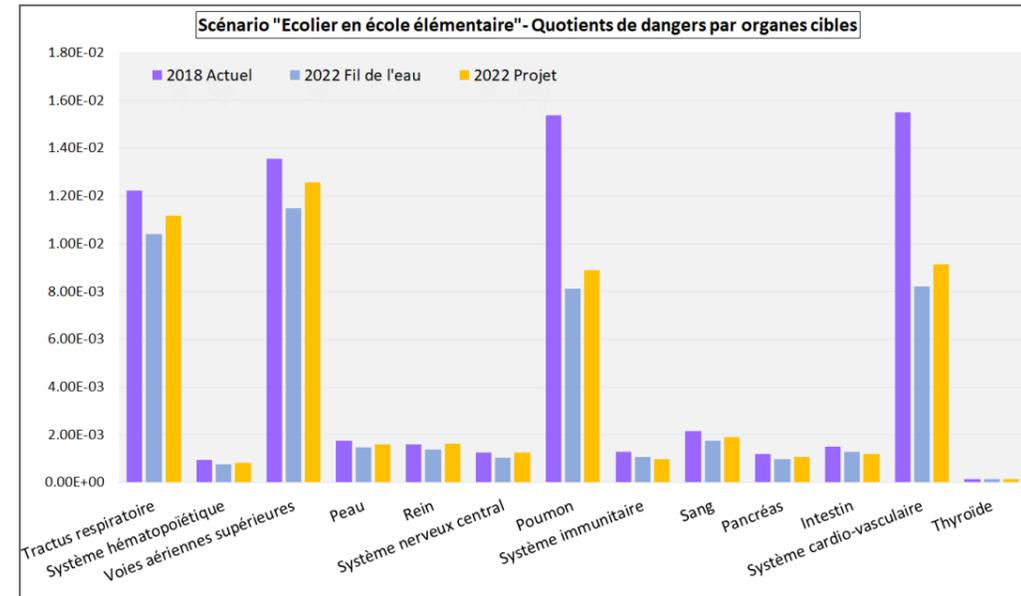


Figure 25 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Ecolier en « école élémentaire »

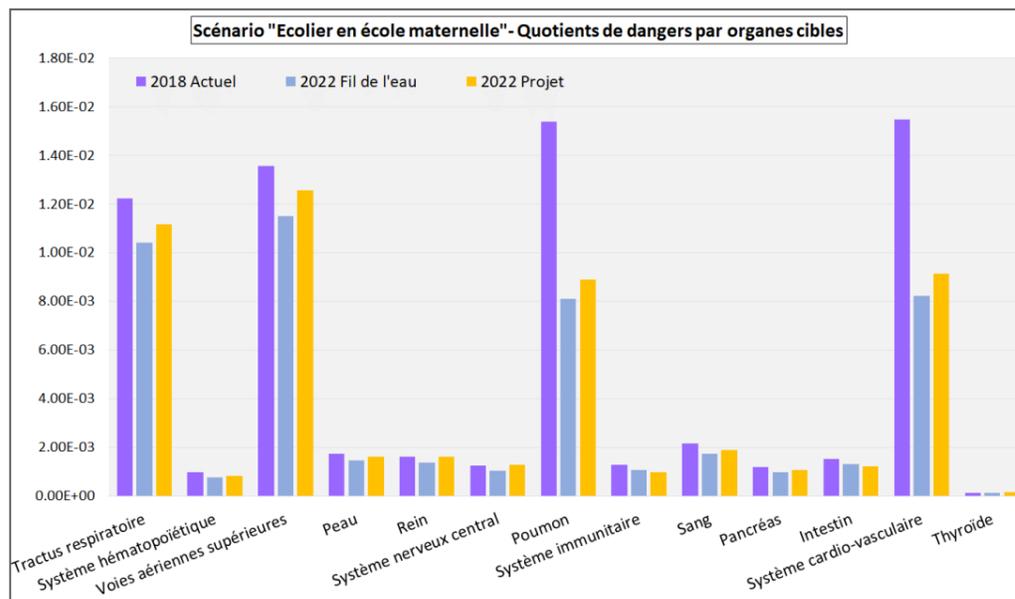


Figure 24 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Ecolier en école maternelle »

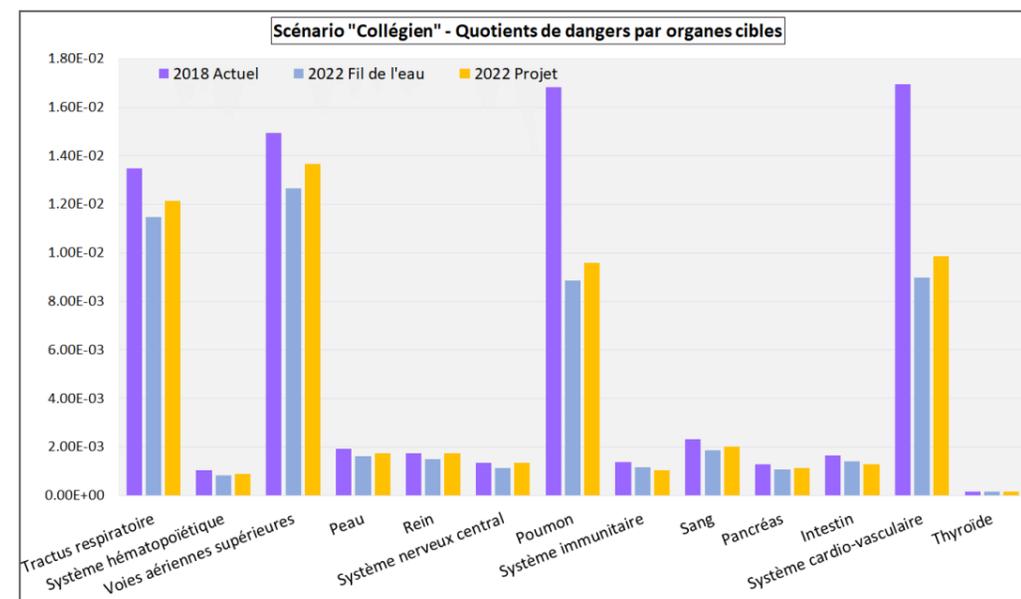


Figure 26 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Collégien »

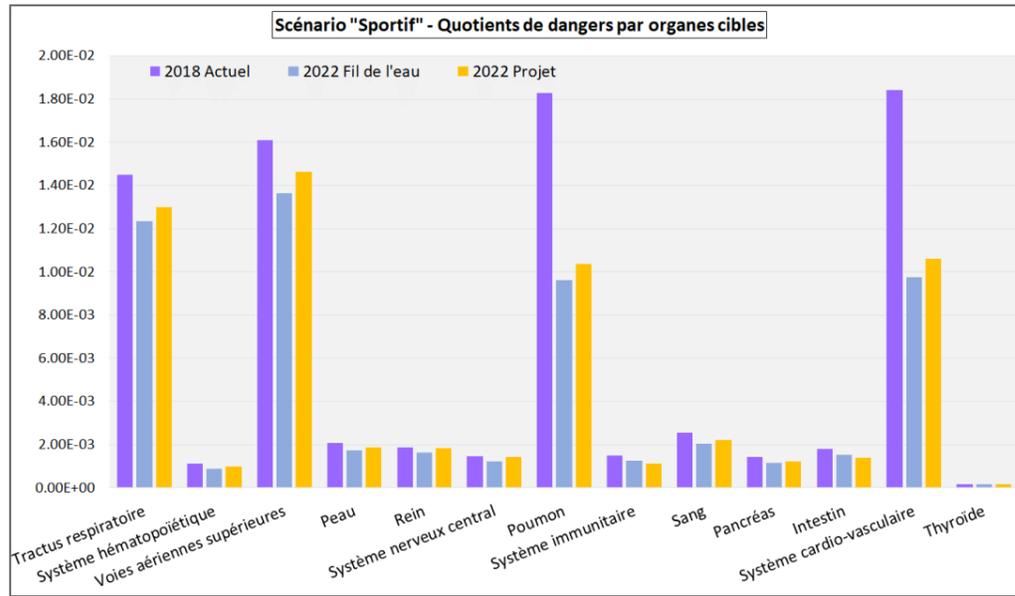


Figure 27 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Sportif »

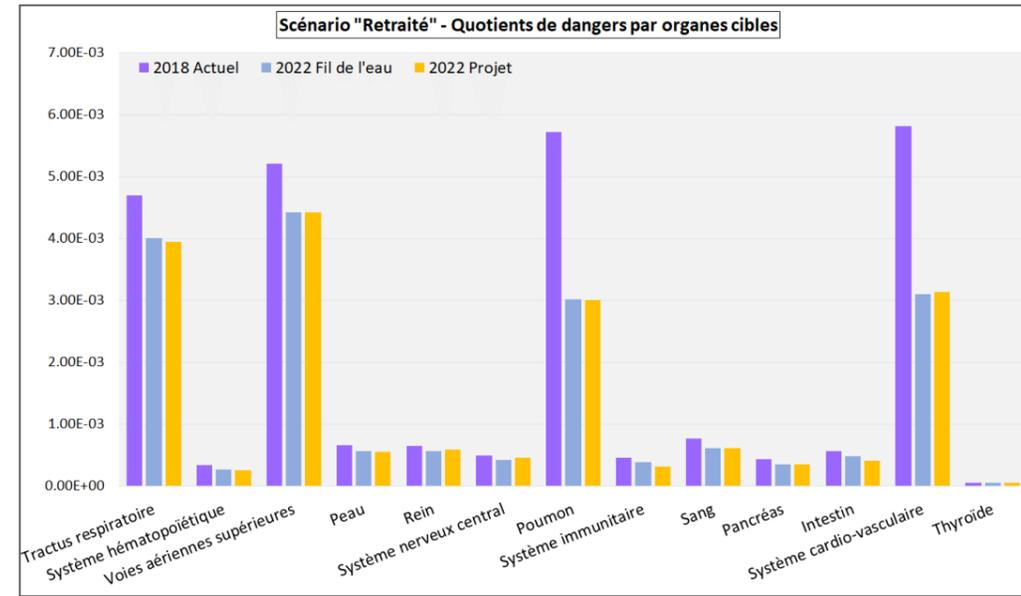


Figure 29 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Retraité »

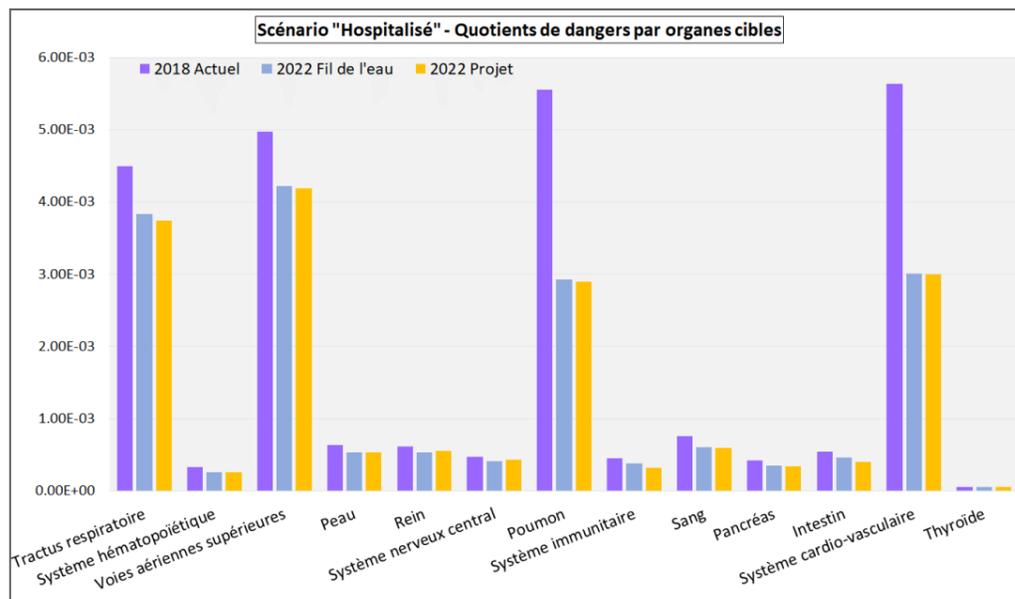


Figure 28 : Quotients de dangers par organe cible – Scénario « Hospitalisé »

### 6.3.4. Évaluation de l'indicateur sanitaire pour les effets sans seuil : calcul de l'excès de risque individuel (ERI)

Cet indicateur représente la probabilité de survenue d'une pathologie pour les individus exposés, compte tenu du scénario construit.

On parle d'excès de risque car cette probabilité est liée à l'exposition au polluant considéré et s'ajoute au risque de base présent dans la population.

L'interprétation des résultats s'effectue ensuite par comparaison à des niveaux de risque jugés socialement acceptables, En France, l'INVS utilise la valeur de  $10^{-5}$ , cette valeur est reprise dans la Circulaire du 09 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations soumises à autorisation.

Le calcul des excès de risque individuel est effectué à partir des concentrations moyennes inhalées.

Dans le cas des effets sans seuil, un seul scénario d'exposition est considéré : le scénario « Résident à vie ».

Le tableau et la figure ci-après présentent l'excès de risque individuel pour le scénario « Résident », pour chaque polluant et pour le cumul de ces polluants.

Tableau 27 : Excès de risque individuel – Scénario « Résident »

Polluant	Excès de risque individuel		
	Scénario « Résident »		
	2018 Etat actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
Acétaldéhyde	1,87E-08	1,58E-08	1,74E-08
Benzène	2,55E-07	2,02E-07	2,23E-07
1,3-Butadiène	4,26E-07	3,48E-07	3,79E-07
Formaldéhyde	8,51E-08	7,18E-08	7,87E-08
Benzo(a)pyrène	1,34E-08	1,31E-08	1,39E-08
Arsenic	1,88E-09	1,88E-09	1,98E-09
Cadmium	2,33E-08	2,31E-08	2,44E-08
Chrome	1,36E-06	1,34E-06	1,42E-06
Nickel	4,92E-09	4,90E-09	5,16E-09
Plomb	2,79E-13	2,73E-13	2,89E-13
Particules diesel	2,71E-06	1,42E-06	1,56E-06
<b>Cumulé</b>	<b>4,90E-06</b>	<b>3,44E-06</b>	<b>3,72E-06</b>

En considérant les ERI par composés, il est possible de constater que les ERI sont tous inférieurs à la valeur seuil de  $10^{-5}$  pour les horizons futurs.

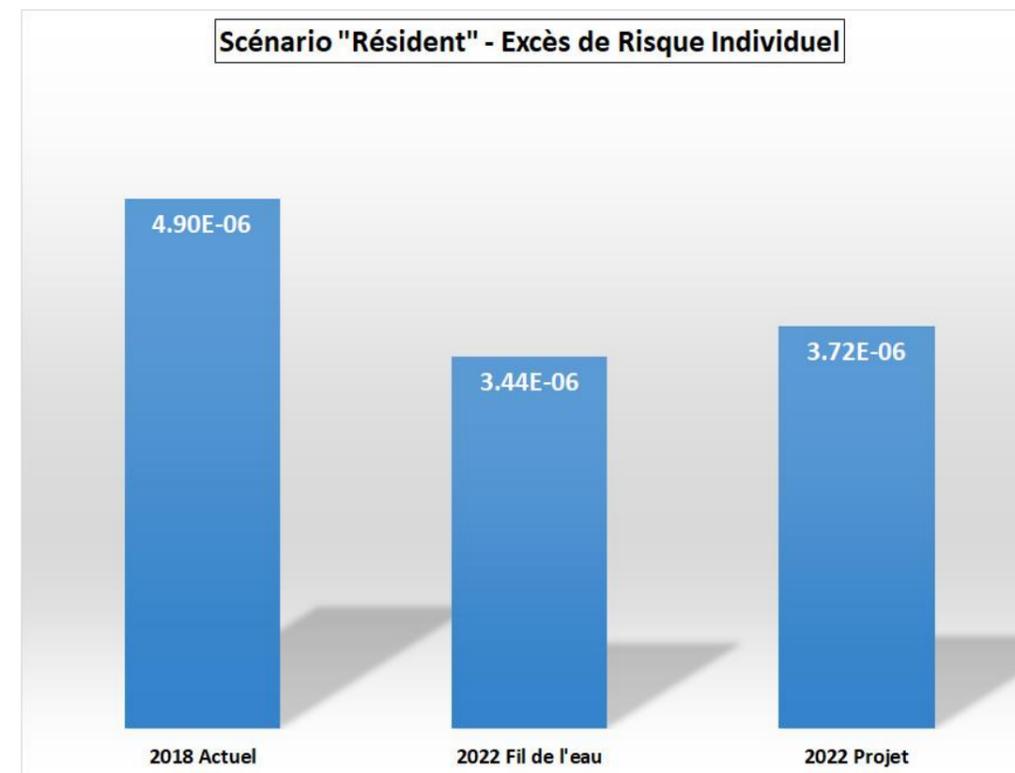


Figure 30 : Excès de risques individuel – Scénario « Résident »

### 6.3.5. Incertitudes relatives à l'EQRS

L'évaluation quantitative des risques sanitaires est segmentée en quatre étapes qui sont respectivement sujettes à des incertitudes spécifiques [Hubert, 2003].

Le tableau qui va suivre reprend de façon schématique les différentes étapes et les incertitudes qui leur sont associées.

<p><b>Étape 1 : Identification du danger</b></p> <p><i>Quels sont les effets néfastes de l'agent et son mode de contact ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interaction de mélanges de polluants</li> <li>• Produits de dégradation des molécules mal connus</li> <li>• Données pas toujours disponibles pour l'homme ou même l'animal</li> </ul>
<p><b>Étape 2 : Choix de la VTR</b></p> <p><i>Quelle est la relation entre la dose et la réponse de l'organisme ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extrapolation des observations lors d'expérimentation à dose moyenne vers les faibles doses d'exposition de populations</li> <li>• Transposition des données d'une population vers une autre (utilisation de données animales pour l'homme)</li> <li>• Analogie entre les effets de plusieurs facteurs de risques différents (analogie entre différents polluants)</li> </ul>
<p><b>Étape 3 : Estimation de l'Exposition</b></p> <p><i>Qui, où, combien et combien de temps en contact avec l'agent dangereux ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difficulté à déterminer la contamination des différents médias d'exposition (manque ou erreur de mesure, variabilité des systèmes environnementaux, pertinence de la modélisation)</li> <li>• Mesure de la dose externe, interne et biologique efficace</li> <li>• Difficulté pour définir les déplacements, temps de séjours, activité, habitudes alimentaires de la population</li> </ul>
<p><b>Étape 4 : Caractérisation du risque</b></p> <p><i>Quelle est la probabilité de survenue du danger pour un individu dans une population donnée ?</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Méconnaissance de l'action de certains polluants (VTR non validées)</li> <li>• Hypothèses posées en termes de dispersion des polluants influencent le résultat</li> <li>• Calcul de l'impact sanitaire qui rajoute un niveau d'incertitude</li> </ul>

### ❖ Identification des dangers

L'identification des dangers est une démarche qualitative qui est initiée par un inventaire des différents produits susceptibles de provoquer des nuisances d'ordre sanitaire. A ce stade, les incertitudes sont liées au défaut d'information et aux controverses scientifiques. Dans le cas présent, l'EQRS a porté sur les polluants dont les effets sont connus. Les autres ont été exclus de la démarche car les substances ont été jugées non pertinentes ou bien tout simplement car l'information n'existe pas.

Ces substances n'ont pas encore de facteurs d'émission, mais la proximité des valeurs de référence avec les teneurs ambiantes et/ou la sévérité des effets sanitaires conduisent les spécialistes à recommander des recherches sur leurs facteurs d'émission.

### ❖ Évaluation des incertitudes sur l'évaluation de la toxicité

L'identification exhaustive des dangers potentiels pour l'homme, le risque lié à des substances non prises en compte dans l'évaluation et la possibilité d'interaction de polluants tendent à sous-estimer le risque en raison du manque de connaissances et de données dans certains domaines.

Les études toxicologiques et épidémiologiques présentent des limites. Les VTR sont établies principalement à partir d'études expérimentales chez l'animal, mais également à partir d'études et d'enquêtes épidémiologiques chez l'homme. L'étape qui génère l'incertitude la plus difficile à appréhender est sans doute celle de la construction des relations dose-réponse, étape initiale de l'établissement des valeurs toxicologiques de référence [VTR]. Il est rappelé que pour le cas des produits cancérigènes sans effet de seuil, ces VTR sont considérées comme étant des probabilités de survenue de cancer excédentaire par unité de dose.

Lorsque les VTR sont établies à partir de données animales, l'extrapolation à l'homme se réalise en général en appliquant des facteurs de sécurité (appelés aussi facteurs d'incertitude ou facteurs d'évaluation) aux seuils sans effet néfaste définis chez l'animal. Lorsque la VTR est établie à partir d'une étude épidémiologique conduite chez l'homme (par exemple sur une population de travailleurs), l'extrapolation à la population générale se fait également en appliquant un facteur de sécurité afin de tenir compte notamment de la différence de sensibilité des deux populations.

Ainsi, les facteurs de sécurité ont-ils pour but de tenir compte des incertitudes et de la variabilité liées à la transposition inter-espèces, à l'extrapolation des résultats expérimentaux ou aux doses faibles, et à la variabilité entre les individus au sein de la population.

Ces facteurs changent d'une substance à une autre. Pour certaines d'entre elles, il n'existe pas de facteur de quantification en l'état actuel des connaissances.

❖ Incertitudes sur l'évaluation de l'exposition

Quatre types d'incertitudes peuvent être associés à l'évaluation de l'exposition :

- L'incertitude portant sur la définition des populations et des usages ;
- L'incertitude portant sur les modèles utilisés ;
- L'incertitude portant sur les paramètres ;
- L'incertitude portant sur les substances émises par les sources de polluants considérées.

Les phénomènes intervenant dans l'exposition des populations à une source de polluants dans l'environnement sont très nombreux. Le manque de connaissances et les incertitudes élevées autour de certains modes de transfert des polluants dans l'atmosphère amènent à utiliser des représentations mathématiques simples pour modéliser la dispersion. À noter que ces représentations mathématiques induisent des incertitudes difficilement quantifiables.

❖ Caractérisation du risque

Dernière étape de l'EQRS : la caractérisation du risque, ce dernier étant défini ici comme une « éventualité » d'apparition d'effets indésirables.

Pour les produits cancérigènes sans effet de seuil, la quantification du risque consiste à mettre en relation - pour les différentes voies d'exposition identifiées- les VTR et les doses d'exposition, afin d'arriver à une prédiction sur l'apparition de cancers parmi une population exposée. Les incertitudes inhérentes à cette étape concernent, outre les modèles conceptuels utilisés pour estimer les doses pour les voies d'exposition considérées, les valeurs numériques des facteurs d'exposition qui influencent les résultats des calculs de dose (facteur d'ingestion, fréquence et durée d'exposition, poids corporel, et *cætera*).

**6.3.6. Synthèse de l'EQRS**

L'EQRS a été menée conformément aux recommandations de l'Institut de Veille Sanitaire et de l'INERIS. Ainsi, il a été successivement présenté :

- Une identification des dangers liés aux substances « traceurs » retenues ;
- Une identification et une sélection des VTR ;
- Une caractérisation des risques sanitaires pour la voie inhalation ;
- Une identification des facteurs d'incertitude liés à l'évaluation menée.

Pour tous les scénarios étudiés, il est constaté que tous les *Quotients de Danger* sont inférieurs à 1 (seuil d'acceptabilité), même en les additionnant par organe cible.

De même l'*Excès de Risque Individuel cumulé* est inférieur au seuil de  $10^{-5}$  pour toutes les situations considérées.

**6.4. SYNTHÈSE – IMPACTS SUR PROJET SUR LA SANTÉ**

Pour l'ensemble des scénarios étudiés, il est constaté que tous les *Quotients de Danger* sont inférieurs à 1 (seuil d'acceptabilité), cela même en les additionnant par organe-cible.

Egalement, l'*Excès de Risque Individuel cumulé* est inférieur au seuil de  $10^{-5}$  pour toutes les situations considérées.

**7. EVALUATION DES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES**

Le tableau suivant présente les consommations énergétiques moyennes (en kilogramme par jour), calculées à partir des trafics avec le logiciel COPERT IV :

Tableau 28 : Consommation de carburant [kg / jour]

	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<i>Essence</i>	174	175	180
<i>Diesel</i>	992	956	977
<b>Total</b>	<b>1 166</b>	<b>1 132</b>	<b>1 157</b>

Du fait de l'amélioration du parc automobile, les consommations pour le scénario futur avec projet sont légèrement inférieures à celles de l'état actuel (-1 %).

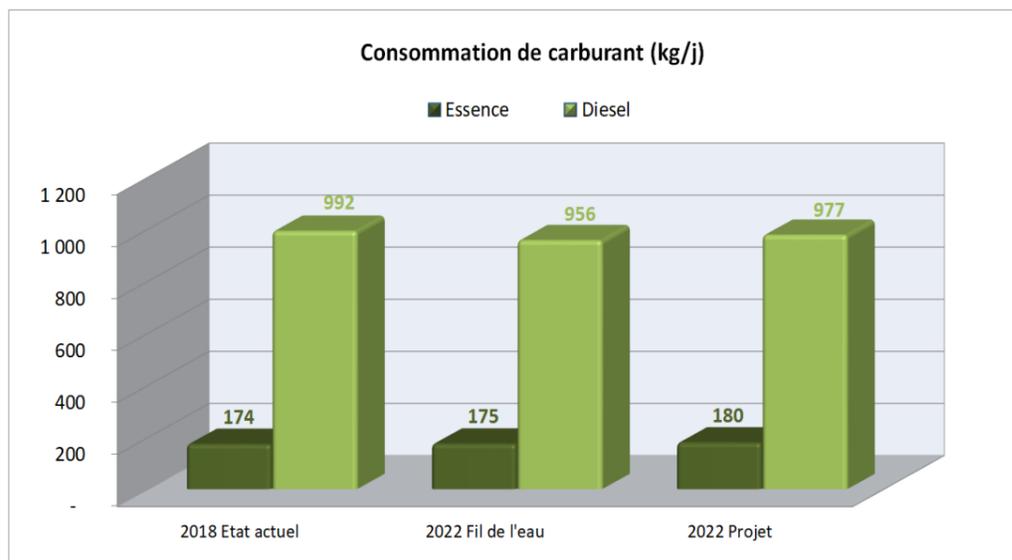


Figure 31 : Consommation moyenne de carburant par jour

## 8. COÛTS COLLECTIFS DE L'IMPACT SANITAIRE

### 8.1. COÛTS LIÉS AUX ÉMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

Le décret n°2003-767 a introduit, à propos des infrastructures de transport, un nouveau chapitre de l'étude d'impact concernant une analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances induits pour la collectivité.

La monétarisation des coûts s'attache à comparer avec une unité commune (l'Euro) l'impact lié aux externalités négatives (ou nuisances) et les bénéfices du projet.

Dans une fiche-outils du 1<sup>er</sup> octobre 2014 (« Valeur de référence prescrites pour le calcul socio-économique »), le Ministère de l'Environnement recommande des valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique. Ces valeurs ne couvrent pas tous les effets externes, mais elles concernent néanmoins la pollution locale de l'air sur la base de ses effets sanitaires. Ainsi, le rapport fournit, pour chaque type de trafic (poids lourds, véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers) et pour quelques grands types d'occupation humaine (urbain dense, urbain diffus, interurbain, etc.), une valeur de l'impact - principalement sanitaire - de la pollution atmosphérique.

Ces valeurs sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 29 : Coûts unitaires de la pollution atmosphérique générée par le transport routier en 2010 (en €<sub>2010</sub> / 100 véhicules x km)

Type de véhicules	URBAIN Très dense	URBAIN Dense	URBAIN	URBAIN Diffus	Inter URBAIN
VL	15,8	4,3	1,7	1,3	0,9
PL	186,6	37,0	17,7	9,4	6,4

D'après la densité de population dans la zone d'étude (cf. chapitre « Définition du niveau de l'étude »), les coûts utilisés sont ceux correspondant à un milieu de type « urbain très dense ».

La fiche-outils précise qu'il est nécessaire d'actualiser ces valeurs suivant l'évolution du parc automobile et le taux d'inflation.

Sur la dernière décennie, l'inflation a été en moyenne de 1,11 % par an d'après l'INSEE. Cette valeur sera utilisée pour extrapoler les coûts aux horizons futurs.

L'application des valeurs recommandées et de leur règle d'évolution pour l'ensemble du trafic considéré conduit aux évaluations suivantes (valeurs journalière et annuelle) :

Tableau 30 : Estimation des coûts de la pollution atmosphérique générée par le transport routier

Type de véhicules	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
<b>Sur une journée</b>			
VL	2 041 € <sub>2018</sub>	1 791 € <sub>2022</sub>	1 837 € <sub>2022</sub>
PL	665 € <sub>2018</sub>	584 € <sub>2022</sub>	584 € <sub>2022</sub>
<b>Total</b>	<b>2 706 €<sub>2018</sub></b>	<b>2 376 €<sub>2022</sub></b>	<b>2 421 €<sub>2022</sub></b>
<b>Sur l'ensemble de l'année</b>			
VL	745 k€ <sub>2018</sub>	654 k€ <sub>2022</sub>	670 k€ <sub>2022</sub>
PL	243 k€ <sub>2018</sub>	213 k€ <sub>2022</sub>	213 k€ <sub>2022</sub>
<b>Total</b>	<b>988 k€<sub>2018</sub></b>	<b>867 k€<sub>2022</sub></b>	<b>884 k€<sub>2022</sub></b>

En fonction de l'évolution des émissions de polluants atmosphériques par rapport à la situation actuelle, les coûts sanitaires varient de -11 % pour le scénario 2022 avec projet.

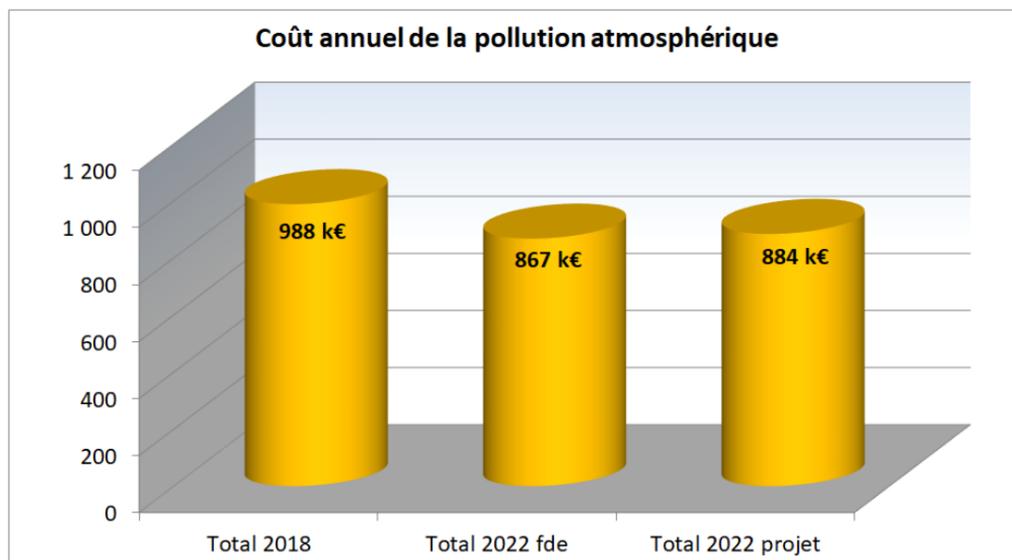


Figure 32 : Coût annuel de la pollution atmosphérique

Il est nécessaire de prendre en compte le fait que, à ce jour, lorsqu'elle est réalisée par les services instructeurs, l'estimation chiffrée des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique se base généralement sur les trafics sans retenir : ni la répartition spatiale de la population, ni les paramètres d'exposition.

Il devrait être possible d'affiner l'estimation des coûts sanitaires en s'intéressant à l'exposition de la population, dès lors que l'on se base sur le principe d'un lien de proportionnalité entre le coût sanitaire et l'Indice Pollution Population.

Le CEREMA développe actuellement ce type de démarche.

## 8.2. COÛTS LIÉS AUX ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Le coût social du carbone peut être considéré comme étant la valeur du préjudice qui découle de l'émission d'une tonne de CO<sub>2</sub>.

La monétarisation des conséquences de l'augmentation de l'effet de serre a été déterminée par une approche dite « tutélaire », dans la mesure où la valeur monétaire recommandée ne découle pas directement de l'observation des prix de marché mais relève d'une décision de l'État, sur la base d'une évaluation concertée de l'engagement français et européen dans la lutte contre le changement climatique.

Selon le document du Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP) intitulé « Evaluation socioéconomique des investissements publics » de septembre 2013, les valeurs à considérer pour une tonne d'équivalent CO<sub>2</sub> émise sont de 32 €<sub>2010</sub> en 2010 et de 100 €<sub>2010</sub> en 2030.

Sur la base de ces hypothèses et des règles d'évolution proposées par le CGSP, le coût des émissions des GES est indiqué dans le tableau ci-après.

Tableau 31 : Estimation des coûts des GES générés par le transport routier

	2018 Actuel	2022 Fil de l'eau	2022 Projet
Sur une journée	207 € <sub>2018</sub>	268 € <sub>2022</sub>	274 € <sub>2022</sub>
Sur une année	76 k€ <sub>2018</sub>	98 k€ <sub>2022</sub>	100 k€ <sub>2022</sub>

Le coût des émissions de gaz à effet de serre augmente à l'horizon futur en raison de la valeur tutélaire du carbone qui croît de façon marquée.

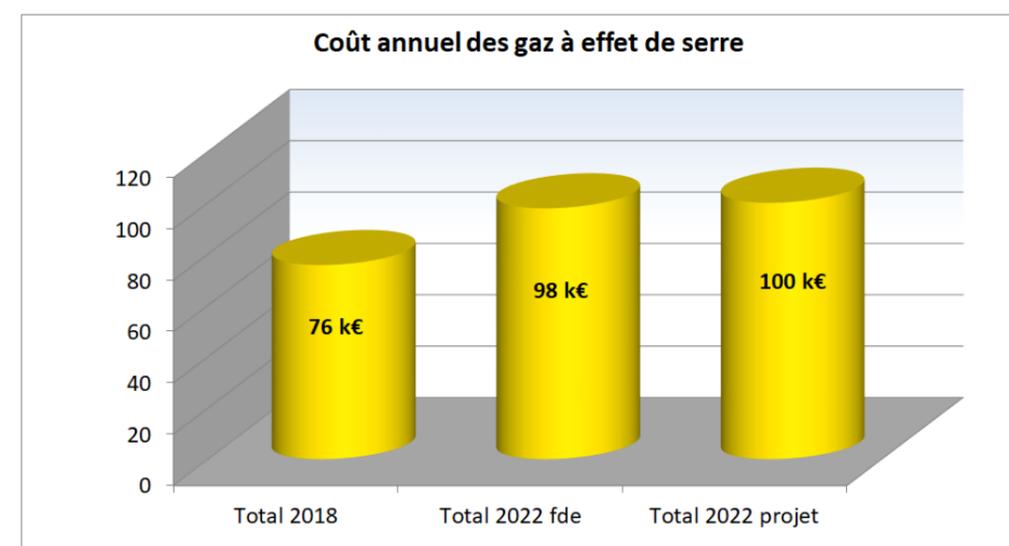


Figure 33 : Coût annuel des émissions de GES

## 9. ANALYSE QUALITATIVE DES MESURES DE RÉDUCTION DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE DE PROXIMITÉ

La pollution atmosphérique dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables.

Par ailleurs, l'étude des impacts du projet a montré des effets restreints sur la qualité de l'air et la santé.

Etant donné l'absence d'impacts résiduels, il n'est pas proposé de mesures de réduction de la pollution atmosphérique dans le cadre de ce projet.

## 10. ARTICULATION AVEC LES PLANS ET SCHÉMAS D'ILE-DE-FRANCE

### 10.1. SCHEMA REGIONAL DU CLIMAT, DE L'AIR ET DE L'ENERGIE (SRCAE)

Le SRCAE d'Ile-de-France fixe des objectifs concernant notamment la qualité de l'air et la lutte contre le réchauffement climatique.

Parmi les objectifs définis, l'« amélioration de la qualité de l'air pour la santé des franciliens » sera respecté avec la mise en place du projet.

En effet, les concentrations en polluants avec la mise en place du projet vont diminuer par rapport à la situation actuelle de 2018.

En revanche, l'objectif de réduction de 20 % des émissions de GES ne sera pas atteint pour ce projet.

Les trafics à l'horizon 2022 ne diminuant pas, les émissions de GES vont légèrement croître par rapport à 2018 avec la mise en place du projet (+1 %).

Remarque : il est intéressant de rappeler que les objectifs du SRCAE concernent la région Île-de-France dans son ensemble et non un projet en particulier.

## 11. SYNTHÈSE DU VOLET AIR ET SANTÉ

La présente étude Air et Santé s'inscrit dans le cadre du projet d'aménagement d'un ensemble immobilier Rue Pierre Semard à Villiers-le-Bel, dans le département du Val-d'Oise [95].

La réalisation de ce projet va entraîner des modifications de trafic dont les conséquences sur la qualité de l'air et la santé doivent être analysées, notamment au niveau des zones dites « sensibles » (écoles, crèches, terrains de sports extérieurs, ...).

Les scénarios et horizons retenus dans l'analyse des impacts afférents au projet sont les suivants :

- L'horizon actuel (année 2018) ;
- Le scénario à l'horizon futur correspondant à l'année de mise en service (année 2022) sans le projet (scénario dit « au fil de l'eau ») ;
- Le scénario futur correspondant à l'année de mise en service (année 2022) avec le projet.

D'une manière générale, le projet va entraîner une modification minimale des flux de véhicules sur le domaine d'étude. Cela ne va pas engendrer de dégradation importante de la qualité de l'air. En effet, les améliorations des motorisations et des systèmes épuratifs vont permettre une diminution des émissions et des concentrations de polluants atmosphériques par rapport à 2018.

En définitive, pour tous les polluants étudiés, les concentrations respectent les valeurs seuils réglementaires.

L'indice pollution/population pour le dioxyde d'azote et le benzène, diminue pour les scénarios futurs par rapport à l'état actuel du fait de la baisse des émissions du trafic routier. En revanche, pour les particules PM10, l'arrivée des nouveaux habitants avec le projet entraînera une augmentation de l'indice IPP par rapport à l'état actuel.

Par ailleurs, une Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires a été réalisée au niveau des sites sensibles présents dans la bande d'étude. Tous les indicateurs calculés pour le scénario futur avec projet respectent les seuils d'acceptabilité des risques sanitaires.

**En conclusion, le projet n'aura pas d'impact significatif sur la qualité de l'air ambiant : ni au niveau du domaine étudié, ni au niveau des populations de la zone.**

Thèmes	Avantages / Inconvénients
TRAFIC	D'après les hypothèses considérées, la circulation pour l'horizon futur avec projet augmente légèrement par rapport à l'état actuel (+2 %).
CONSOMMATION DE CARBURANT	Du fait des améliorations technologiques du parc routier, la consommation énergétique diminue légèrement avec le projet par rapport à 2018 (-1 %).
ÉMISSIONS POLLUANTES	Par rapport à la situation actuelle, les émissions avec la mise en place du projet vont diminuer de 7 % grâce à l'évolution du parc automobile.
ÉMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	La hausse du trafic routier pour le scénario avec projet entraîne une légère augmentation des émissions en GES par rapport à l'état actuel (+1 %).
CONCENTRATION DANS L'AIR AMBIANT	D'après les hypothèses considérées, les concentrations sont globalement maximales pour l'horizon actuel 2018.
INDICE POLLUTION-POPULATION [IPP]	Les indices IPP calculés pour le benzène et le dioxyde d'azote pour le scénario de l'horizon futur avec projet sont inférieurs à ceux calculés pour l'état actuel (respectivement -7 % et -18 %). En revanche, pour les particules PM10, l'arrivée des nouveaux habitants avec le projet entraînera une augmentation de l'indice IPP par rapport à l'état actuel (+8 %).
ÉVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES [EQRS]	Tous les indicateurs calculés pour le scénario futur avec projet respectent les seuils d'acceptabilité des risques sanitaires, même en considérant les effets cumulés.
COUT DES EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	En fonction de l'évolution des émissions de polluants atmosphériques par rapport à la situation actuelle, les coûts sanitaires varient de -11 % pour le scénario 2022 avec projet.
COUT DES GAZ A EFFET DE SERRE	Le coût des émissions de gaz à effet de serre augmente à l'horizon 2022 en raison de la valeur tutélaire du carbone qui croît de façon marquée.
EFFETS CUMULES AVEC D'AUTRES PROJETS	Les effets cumulés ont été considérés dans l'étude trafic.
MESURE(S) COMPENSATOIRE(S)	Etant donné l'absence d'impact résiduel, il n'est pas proposé de mesures de réduction de la pollution atmosphérique dans le cadre de ce projet.

## GLOSSAIRE

<b>AASQA</b>	Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air	<b>INRETS</b>	Institut de recherche sur les transports
<b>ADEME</b>	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie	<b>INSEE</b>	Institut national de la statistique et des études économiques
<b>AEE</b>	Agence Européenne de l'Environnement	<b>InVS</b>	Institut de Veille Sanitaire
<b>As</b>	Arsenic	<b>IPP</b>	Indice Pollution Population
<b>Ba</b>	Baryum	<b>MEDDE</b>	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
<b>B(a)P</b>	Benzo(a)Pyrène	<b>Ni</b>	Nickel
<b>BPCO</b>	Broncho-pneumopathie chronique obstructive	<b>NO<sub>2</sub></b>	Dioxyde d'azote
<b>BTEX</b>	Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes	<b>NOx</b>	Oxydes d'azote
<b>Cd</b>	Cadmium	<b>N<sub>2</sub>O</b>	Protoxyde d'azote
<b>CERTU</b>	Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques	<b>O<sub>3</sub></b>	Ozone
<b>CH<sub>2</sub>O</b>	Formaldéhyde	<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>CH<sub>4</sub></b>	Méthane	<b>Pb</b>	Plomb
<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O</b>	Acétaldéhyde	<b>PDU</b>	Plan de Déplacement Urbain
<b>C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O</b>	Acroléine	<b>PL</b>	Poids Lourds
<b>C<sub>4</sub>H<sub>6</sub></b>	1,3-Butadiène	<b>PM</b>	Particulate Matter (particules fines en suspension)
<b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>	Benzène	<b>PM10</b>	Particules de taille inférieure à 10 µm
<b>CITEPA</b>	Centre Interprofessionnel technique d'Etude de la Pollution Atmosphérique	<b>PM2,5</b>	Particules de taille inférieure à 2,5 µm
<b>CO</b>	Monoxyde de carbone	<b>PNSE</b>	Plan National Santé Environnement
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de carbone	<b>PPA</b>	Plan de Protection de l'Atmosphère
<b>COPERT</b>	COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport	<b>PRQA</b>	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
<b>CORINAIR</b>	CORe INventories AIR	<b>PRSE</b>	Plan Régional Santé Environnement
<b>COV</b>	Composé Organique Volatil	<b>PSQA</b>	Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air
<b>COVNM</b>	Composé Organique Volatil Non Méthanique	<b>QD</b>	Quotient de danger
<b>Cr</b>	Chrome	<b>SETRA</b>	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
<b>DRIEE</b>	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie	<b>SO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de soufre
<b>EIS</b>	Evaluation de l'Impact Sanitaire	<b>SRCAE</b>	Schéma Régional Climat, Air, Énergie
<b>ERI</b>	Excès de Risque Individuel	<b>TMJA</b>	Trafic Moyen Journalier Annuel
<b>ERU</b>	Excès de risque Unitaire	<b>US EPA</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>EQRS</b>	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires	<b>UVP</b>	Unité de Véhicule Particulier
<b>GES</b>	Gaz à Effet de Serre	<b>VK</b>	Véhicules-Kilomètres
<b>HAP</b>	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	<b>VL</b>	Véhicule Léger
<b>Hg</b>	Mercurie	<b>VTR</b>	Valeur Toxicologique de Référence
<b>HPM / HPS</b>	Heure de pointe du matin / du soir		

# Annexes

**ANNEXE N°1 : EFFETS SANITAIRES REDOUTES**

**Tableau 32 : Effets sanitaires redoutés avec seuil – Voie inhalation**

<b>Acétaldéhyde</b>	Chez l'homme, l'acétaldéhyde, en tant que métabolite de l'éthanol, induit des altérations hépatiques, des rougeurs de la face et des effets sur le développement lors de la consommation d'alcool.
<b>Acroléine</b>	L'acroléine est un irritant des voies respiratoires supérieures et des yeux chez les humains.
<b>Benzène</b>	De nombreuses études ont mis en évidence des effets hémotoxiques et immuno-toxiques. La plupart des effets sanguins ont été associés à des expositions par inhalation.
<b>Butadiène (1,3)</b>	Chez l'homme, la toxicité s'observe essentiellement par inhalation. Des effets hématologiques minimes sont retrouvés et potentiellement des effets cardiovasculaires.
<b>Formaldéhyde</b>	Les principaux effets observés, chez l'homme, sont des effets locaux au niveau des voies aériennes supérieures avec une irritation des yeux, du nez et de la gorge, et des lésions de l'épithélium nasal.
<b>Benzo(a)pyrène</b>	La littérature ne rapporte que des effets par contact cutané.
<b>Arsenic</b>	La grande majorité des informations disponibles, relatives à l'exposition par inhalation à l'arsenic, provient de situations professionnelles (fonderies, mines ou usines de produits chimiques) et rapporte des effets principalement au niveau de : - l'appareil respiratoire (emphysème, pneumoconiose), - du système cardiovasculaire (maladie de Raynaud) - de la peau (hyperkératose et hyperpigmentation) - du système nerveux périphérique (neuropathies, diminution de la conduction nerveuse).
<b>Baryum</b>	Parmi les populations professionnelles de mineurs exposées aux composés insolubles de baryum par inhalation, de nombreux cas de barytose ont été décrits.
<b>Cadmium</b>	Chez l'homme, le rein est la principale cible. L'exposition chronique au cadmium entraîne une néphropathie irréversible, pouvant conduire à une insuffisance rénale. Des troubles respiratoires sont rapportés pour des expositions cumulées par inhalation. Ils sont liés aux effets irritants des particules de cadmium. Les atteintes pulmonaires sont des rhinites, bronchites, et emphysèmes. L'altération pulmonaire peut apparaître jusqu'à 20 ans après l'exposition. Des atteintes du squelette liées à une interférence avec le métabolisme du calcium sont observées lors des expositions aux doses les plus élevées. Cependant, la toxicité osseuse est établie également lors d'exposition n'induisant pas de lésions rénales.
<b>Chrome</b>	Les manifestations toxiques du chrome sont généralement attribuées aux dérivés hexavalents. Le chrome III est un composé naturel de l'organisme, mais il possède également une action toxique. Il n'y a pas d'étude rapportant les effets du chrome III seul chez l'homme, cependant il a été montré que lors d'exposition au chrome sous la forme hexavalente ce dernier est tout ou partiellement réduit en chrome trivalent. Le tractus respiratoire est l'organe cible des effets lors de l'exposition par inhalation aux dérivés du chrome III et du chrome VI.

<b>Mercure</b>	Chez l'homme, les deux principaux organes cibles du mercure élémentaire et du mercure inorganique sont le système nerveux central et le rein. Ainsi, les principaux symptômes d'intoxication par le mercure sont d'ordre neurologique comme des troubles de la psychomotricité, des troubles cognitifs et des modifications de la personnalité (comme de l'irritabilité, de l'anxiété). Le mercure atteint également les reins (lésions glomérulaires et tubulaires) et induit une protéinurie. Enfin, il est également observé des troubles cardiovasculaires (tachycardie, hypertension artérielle), respiratoires, hépatiques et immunologiques. Le mercure organique atteint essentiellement le cerveau.
<b>Nickel</b>	Les études chez l'homme (et l'animal) indiquent que le système respiratoire est la cible principale de la toxicité du nickel par inhalation. Une augmentation de l'incidence des décès par pathologie respiratoire a été trouvée chez des travailleurs exposés chroniquement au nickel. Les effets respiratoires étaient de type bronchite chronique, emphysème et diminution de la capacité vitale.
<b>Plomb</b>	Le plomb s'accumule dans l'organisme et il est reconnu qu'une exposition de longue durée (exposition chronique) à des composés inorganiques du plomb a des effets nocifs importants sur la santé. L'inhalation ou l'ingestion de composés inorganiques du plomb, y compris le plomb élémentaire, ont des effets à long terme sur la santé qui sont semblables. L'exposition professionnelle prolongée à de faibles concentrations de plomb cause des dommages au système nerveux central (SNC) ou aux fonctions cérébrales des travailleurs. Typiquement, les symptômes se produisent après une exposition faible ou modérée et ils comprennent la tendance à l'oubli, l'irritabilité, la fatigue, les maux de tête, la fatigue extrême, l'impuissance, une diminution de la libido (pulsion sexuelle), les étourdissements et la dépression. Des expositions répétées à des concentrations modérées ou élevées peuvent causer une encéphalopathie (une dégénérescence progressive de certaines régions du cerveau). Les symptômes précoces de l'encéphalopathie comprennent l'apathie, l'irritabilité, un raccourcissement du temps d'attention, des maux de tête, des tremblements musculaires, des pertes de mémoire et des hallucinations. Des symptômes plus graves se produisent pour des niveaux d'exposition très élevés et comprennent le délire, le manque de coordination, des convulsions, la paralysie, le coma et le décès. Des expositions répétées aux composés inorganiques du plomb peuvent avoir des effets sur le comportement. Des concentrations faibles ou modérées de plomb inorganique causent des dommages au système nerveux périphérique (les nerfs des bras et des jambes) des personnes qui y sont exposées par leur travail. On a observé des lésions rénales réversibles chez certains travailleurs ayant subi des expositions faibles répétées à des composés inorganiques du plomb. Le plomb inorganique peut avoir des effets nocifs sur certains types de globules sanguins.

<b>Particules diesel</b>	<p>Le dépôt des particules en suspension dans le système respiratoire dépend des propriétés physico-chimiques de l'aérosol (la taille, la forme, la surface, le caractère, ...). Après leur dépôt, les particules et particulièrement les particules inférieures à 0,1 µm semblent transloquer facilement vers des sites extrapulmonaires et atteignent alors différents organes cibles.</p> <p>Les effets des particules sont dus à la fois par leurs dépôts dans le système respiratoire, mais aussi par les polluants qu'elles transportent (imbrûlés, HAP, etc.). Elles peuvent en effet véhiculer sur leur surface des substances toxiques capables de passer la barrière air/sang au niveau des alvéoles pulmonaires.</p> <p>Les principaux effets toxicologiques des polluants, en particulier sur les mécanismes de stress oxydatif ainsi que sur l'appareil cardio-vasculaire, sont mis en évidence par plusieurs études biologiques. D'autres études ont aussi montré que la fonction respiratoire diminuait lors d'une exposition chronique à long-terme aux particules. En augmentant le stress oxydatif, elles aggravent l'inflammation des BPCO (Bronco-Pneumopathies Chroniques Obstructives) et conduisent à leur exacerbation. De même, l'inflammation alvéolaire serait à l'origine d'une inflammation systémique contribuant à augmenter la coagulabilité sanguine elle-même responsable de l'initialisation et la progression de l'athérosclérose à l'origine de maladies cardiaques ischémiques aiguës et d'accidents vasculaires cérébraux. De plus, des lésions anatomopathologiques des bronches et des bronchioles, ainsi qu'un épaississement de la paroi artérielle ont été aussi associés à une exposition chronique aux particules. Les effets de la pollution aérienne sur la variabilité de la fréquence cardiaque ont été mis en évidence pour la pollution particulaire.</p>
<b>Oxydes d'azote</b>	<p>Chez l'homme, le monoxyde d'azote a une action toxique au niveau des plaquettes, et induit la formation de nitrosylhémoglobine et de méthémoglobine. Il a également des effets respiratoires.</p> <p>Les enfants exposés au dioxyde d'azote dans l'air intérieur ont des symptômes respiratoires plus marqués et des prédispositions à des maladies respiratoires chroniques d'apparitions plus tardives, sans pour autant qu'il y ait une augmentation de leur fréquence. Les études chez les adultes n'ont pas montré d'augmentation de la fréquence des symptômes respiratoires</p> <p>Les enfants exposés au dioxyde d'azote dans l'air extérieur montrent un allongement de la durée des symptômes respiratoires. Pour les adultes, la corrélation entre exposition et pathologies respiratoires chroniques n'est pas claire.</p>
<b>Dioxyde de soufre</b>	<p>Plusieurs études effectuées chez les humains ont démontré que des expositions répétées à de faibles concentrations de SO<sub>2</sub> (moins de 5 ppm) causent une insuffisance pulmonaire permanente. Cet effet peut sans doute être attribué à des crises répétées de bronchoconstriction</p>
<b>Monoxyde de carbone</b>	<p>Les signes d'appel d'une intoxication chronique sont les mêmes que dans le cas d'une intoxication subaiguë débutante : céphalées, vertiges et asthénie, parfois associés à des troubles digestifs. Les études conduites afin d'évaluer l'effet sur le myocarde indiquent que l'oxyde de carbone favorise le développement d'une ischémie myocardique à l'effort chez les sujets ayant une coronaropathie préexistante sans favoriser l'apparition de trouble du rythme. Ces effets ont été observés pour les expositions répétées à faibles doses.</p>

Tableau 33 : Effets sanitaires redoutés sans seuil – Voie inhalation

	Effets cancérogènes	Effets sur la reproduction et le développement
<b>Acétaldéhyde</b>	Chez l'homme, une seule étude épidémiologique montre une augmentation de l'incidence des cancers toutes causes confondues chez des travailleurs exposés à l'acétaldéhyde mais le faible nombre de cas ne permet pas de conclure.	Chez l'animal, l'acétaldéhyde passe la barrière placentaire. Des effets tératogènes, de type retard de croissance, d'ossification ou augmentation du nombre de résorptions sont rapportés pour des expositions intrapéritonéales ou intraveineuses. L'acétaldéhyde a été étudié par l'Union Européenne mais il n'a pas été classé.
<b>Acroléine</b>	La seule étude épidémiologique relevée (Bittersohl, 1975) est jugée inadéquate pour l'évaluation de la cancérogénicité de l'acroléine chez les humains puisqu'elle ne se limite qu'à des observations qualitatives. Elle ne présente aucune analyse quantitative par site de tumeur avec une population témoin, normalisée en fonction de l'âge et du sexe. Par ailleurs, les travailleurs étudiés avaient été exposés en même temps à plusieurs autres substances.	L'acroléine est difficile à tester en mutagenèse car elle a une grande réactivité qui l'empêche d'atteindre sa cible et une forte cytotoxicité qui gêne l'expression de la mutation. Cependant, elle peut être considérée comme un mutagène faible in-vivo, en absence d'activation métabolique dans les tests bactériens.
<b>Benzène</b>	Plus de 25 études ont rapporté une augmentation des taux de cancer au cours des expositions professionnelles au benzène. La leucémie aiguë est l'affection la plus souvent rapportée dans les études de cas mais l'épidémiologie retrouve une association significative avec les leucémies de tout type voire d'autres affections du tissu hématopoïétique comme les lymphomes non hodgkiniens.	Le benzène passe la barrière placentaire et est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus à des niveaux supérieurs ou égaux à ceux mesurés chez la mère exposée par inhalation. Ependant les effets par inhalation sur la reproduction et le développement ne sont pas suffisants pour établir une relation causale.
<b>Butadiène (1,3)</b>	Chez l'homme, il semble qu'il existe un lien entre la survenue de leucémies et les expositions au 1,3-butadiène	Le 1,3-butadiène a été étudié par l'Union Européenne mais n'a pas été classé. Aucune information n'est disponible quant aux effets sur la reproduction et le développement du 1,3-butadiène chez l'homme
<b>Formaldéhyde</b>	Le formaldéhyde a été classé dans le Groupe 1 par l'IARC en 2004, sur la base d'une preuve épidémiologique suffisante pour démontrer qu'il peut être à l'origine de cancers du nasopharynx chez l'homme. Il existe également une forte présomption, mais non suffisante,	Il n'existe pas, en l'état actuel des connaissances, de preuves suffisantes permettant de conclure à la toxicité du formaldéhyde sur la reproduction et le développement embryofœtal.

	Effets cancérogènes	Effets sur la reproduction et le développement
	pour établir un lien de causalité entre l'exposition professionnelle au formaldéhyde et l'apparition de leucémies. Bien que l'excès de risque noté pour les cancers pulmonaires soit faible, le rôle du formaldéhyde ne peut être exclu définitivement.	
<b>Benzo(a)pyrène</b>	Les études rapportées dans la littérature ne permettent pas de conclure quant au caractère cancérogène du benzo[a]pyrène à lui seul chez l'homme. Les études chez l'animal indiquent que le benzo[a]pyrène induit des tumeurs chez de nombreuses espèces animales par les trois voies d'exposition possibles : pulmonaire, orale et cutanée. Les effets rapportés correspondent, une action à la fois locale et systémique.	Il n'existe pas, en l'état actuel des connaissances, de preuves suffisantes permettant de conclure à la toxicité du formaldéhyde sur la reproduction et le développement embryofœtal. D'après la bibliographie, aucune étude n'a été effectuée chez l'homme pour rechercher un éventuel effet du benzo[a]pyrène sur la reproduction. Le benzo[a]pyrène est embryotoxique chez la souris.
<b>Arsenic</b>	L'arsenic a été l'un des premiers composés chimiques reconnus comme cancérogène : - par : le CIRC (groupe 1), - par l'US EPA (classe A) - par l'Union Européenne (4 substances en Catégorie 1). Les principaux cancers liés à une exposition à l'arsenic sont les cancers de la peau, de la vessie, des poumons, des reins et du foie.	Ces effets ont été très peu étudiés chez l'homme. Toutefois pour des doses très faibles, avortements spontanés, mortalités fœtale et infantile tardive et faibles poids de naissance ont été mis en évidence ces dernières années. De même, des effets sur le développement intellectuel ont été observés. Chez l'animal, aucun effet sur la reproduction n'est observé ; des effets sur le développement sont principalement mis en évidence par inhalation, avec des pertes post implantatoires et une diminution du nombre de fœtus viables. Seul l'arséniate de plomb est classé par l'Union Européenne en Catégorie 1 et 3.
<b>Baryum</b>	Aucune étude humaine n'a été réalisée pour connaître les effets cancérogènes, mutagène et reprotoxiques du baryum	
<b>Cadmium</b>	Chez l'homme, plusieurs études de cohorte ou des études cas témoin ont été menées afin de déterminer le risque de cancers lié à une exposition au cadmium en milieu professionnel. La plupart rapportent des cancers pulmonaires et de la prostate. Les études par inhalation chez le rat confirment les données rapportées chez l'homme.	Les études conduites chez l'homme ne montrent aucun effet sur la fertilité ou sur la fonction endocrinienne. Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France conclut à un retentissement faible du cadmium sur la fertilité de l'homme. Chez l'animal, le cadmium traverse la barrière placentaire, c'est un toxique pour le développement. Il induit une

	Effets cancérogènes	Effets sur la reproduction et le développement
		diminution du poids des fœtus, ainsi que des effets tératogènes et neuro développementaux.
<b>Chrome</b>	De nombreuses études épidémiologiques réalisées en Allemagne, en Italie, au Japon, au Royaume Uni ou aux Etats Unis sur des salariés de la production des chromates ont largement mis en évidence un excès de risque pour le cancer du poumon.	Les seules données connues concernant les effets toxiques du chrome sur la fonction de reproduction sont issues d'études réalisées chez la femme exposée professionnellement aux dichromates. Les résultats montrent une augmentation de l'incidence des complications au cours de la grossesse et de la naissance, une toxicose pendant la grossesse ainsi qu'une augmentation des hémorragies post-natales (Shmitova, 1978, 1980). Bien qu'ayant été pratiquées en présence d'un groupe témoin, ces études sont d'une qualité médiocre et ne permettent pas de conclure quant à l'effet du chrome sur la reproduction humaine.
<b>Mercur</b>	Les résultats contradictoires, concernant la cancérogénèse du mercure et de ses composés, ne permettent pas de statuer sur son caractère cancérogène, ce qui explique l'absence de classification européenne.	Il a clairement été montré un effet reprotoxique du mercure et du méthylmercure. En effet chez l'homme une exposition au mercure peut provoquer des avortements spontanés et des malformations (tératogénicité).
<b>Nickel</b>	Les différentes études épidémiologiques portant sur les effets cancérogènes du nickel ont été basées sur des études de cohorte de travailleurs de raffineries et ont mis en évidence une augmentation du risque de cancer du poumon et du nez.	Chez les femmes exposées, le taux de malformations était de 16,9 % contre 5,8 % chez les non-exposés. Les auteurs indiquent que la différence observée est statistiquement significative, cependant aucune précision supplémentaire n'est donnée.
<b>Plomb</b>	D'après le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), les données actuelles ne permettent pas d'établir la cancérogénicité des composés inorganiques du plomb chez l'humain ; cet organisme a donc classé ces composés dans le groupe 2B, soit celui des substances pouvant avoir un effet cancérogène chez l'humain. Un examen détaillé de plus de vingt recherches chez les humains, auxquelles ont participé des travailleurs exposés à des composés inorganiques du plomb dans des fabriques de piles, des fonderies, des	Des effets nocifs sur l'appareil reproducteur ont été signalés chez des hommes exposés à des concentrations faibles ou modérées. Les effets correspondants chez la femme n'ont pas été démontrés dans les cas d'exposition faible ou modérée au plomb inorganique. Des effets nocifs sur l'appareil reproducteur ont été signalés chez l'homme et chez la femme à la suite d'exposition élevée.

	Effets cancérogènes	Effets sur la reproduction et le développement
	fabriques de pigments, des imprimeries et des fabriques de verre, a permis d'établir l'existence d'un risque excédentaire significatif de l'ensemble des cancers (cancers de l'estomac, du poumon et de la vessie), sauf du rein. L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) a attribué au plomb élémentaire la cote de cancérogénicité A3 (cancérogénicité confirmée chez les animaux, mais inconnue chez l'humain).	
<b>Particules diesel</b>	Des études épidémiologiques ont montré un risque accru de risque accru de cancers pulmonaires pour des populations professionnellement exposées aux émissions des moteurs à combustion. Ces effets semblent se confirmer également expérimentalement mais certains résultats sont parfois contradictoires comme en témoigne des études de cancérogenèse expérimentales qui ont été menées sur des rats. Ainsi, "il est couramment admis par la communauté scientifique que les particules diesel sont responsables de la cancérogénicité expérimentale des émissions diesel " (SFSP, 1996). De surcroît, le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) classe les particules diesel comme étant probablement cancérogènes chez l'Homme.	Certaines études chez l'animal semblent montrer des atteintes possibles au niveau de la spermatogenèse. Ces données sont cependant trop partielles et ne peuvent pas être extrapolées actuellement chez l'homme.
<b>Oxydes d'azote</b>	Le monoxyde d'azote et le dioxyde d'azote n'ont pas été classés cancérogènes par l'UE, l'US EPA et l'IARC ; le monoxyde n'a pas été étudié par l'UE. Différentes études ont montré des résultats positifs quant à la génotoxicité du dioxyde d'azote, néanmoins il n'a pas été classé par l'UE. Le monoxyde d'azote n'a pas été étudié.	Le monoxyde d'azote n'a pas été étudié par l'UE, et le dioxyde d'azote n'est pas classé reprotoxique. Chez l'animal, le dioxyde d'azote induit des effets neuro comportementaux, des signes d'embryotoxicité. En revanche, aucun effet tératogène ou sur la spermatogenèse n'est rapporté.

	Effets cancérogènes	Effets sur la reproduction et le développement
<b>Dioxyde de soufre</b>	Plusieurs études épidémiologiques ont évalué la possibilité que le dioxyde de soufre cause des cancers tels un cancer du poumon, un cancer de l'estomac ou des tumeurs cérébrales. Toutes les études comportaient des facteurs de confusion non contrôlés comme une exposition concomitante à d'autres produits chimiques. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a passé en revue ces études et décidé que les données actuelles ne permettent pas d'établir la cancérogénicité chez l'humain. Cependant, il y a quelques signes de cancérogénicité chez les animaux. Évaluation globale faite par le CIRC : Il est impossible de classer le SO <sub>2</sub> en fonction de sa cancérogénicité chez l'humain (groupe 3).	Un certain nombre d'études épidémiologiques ont indiqué qu'une exposition au SO <sub>2</sub> peut être reliée à des effets nocifs sur l'appareil reproducteur. Cependant, aucune de ces études n'a fourni des données indiquant clairement que le SO <sub>2</sub> soit responsable des effets observés. Aucune conclusion ne peut être tirée du peu d'information recueillie chez les animaux.
<b>Monoxyde de carbone</b>	Le monoxyde de carbone n'est pas classé par le CIRC.	L'oxyde de carbone ne modifie pas la fertilité et ne semble pas tératogène, mais il est nettement foetoxique. Lors d'une intoxication grave de la mère dans le coma, il peut y avoir mort du fœtus ou, sinon, de graves séquelles neurologiques. Si l'exposition est prolongée ou l'intoxication aigue moins importante, on peut observer un retard de croissance <i>in utero</i> et une augmentation de la mortalité néonatale. Si l'enfant survit, il ne semble pas y avoir de séquelles à long terme.

## ANNEXE N°2 : ANALYSE QUALITATIVE DES MESURES DE RÉDUCTION DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE DE PROXIMITÉ

La pollution atmosphérique dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables.

### Présentation des différentes mesures

Plusieurs types d'actions peuvent être envisagés pour limiter, à proximité d'une voie donnée, la pollution :

- **Eloignement des sites sensibles**, et des zones à forte densité de population, des axes routiers à fort trafic.
- **Réduction des émissions polluantes à la source** : indépendamment des mesures envisageables sur le véhicule lui-même, les émissions polluantes sont influencées par les conditions de circulation (limitation de vitesse à certaines périodes ou en continu, restrictions pour certains véhicules, congestion de la route).
- **Limitation de la dispersion des polluants** : la pollution gazeuse ne peut pas être éliminée par un obstacle physique mais sa dispersion peut être influencée par la présence d'obstacles (naturels ou artificiels). La diffusion de la pollution particulaire peut quant à elle être piégée par des écrans physiques et végétaux.

Les mouvements atmosphériques jouent un rôle fondamental dans la dispersion des polluants. Ces derniers sont influencés par l'occupation du sol, que ce soit dans le champ proche avec la présence d'obstacles isolés (mur antibruit par exemple) ou dans le champ lointain avec la topographie du terrain. Par ailleurs, les éventuelles discontinuités de recouvrement du sol vont être à l'origine d'effets thermiques propres à modifier le champ de vent.

- Dans le cas d'un obstacle, la perturbation du champ de vent dépend :
- De la géométrie et des dimensions de l'obstacle ;
- De son état de surface ;
- Des caractéristiques du vent incident ;
- De l'environnement proche.

La complexité des écoulements autour d'obstacles isolés peut être illustrée par l'écoulement autour d'un bâtiment de forme cubique (cf. figure) :

- Au niveau des parois de l'obstacle, se forment des zones de recirculation ;
- Au niveau de la rencontre de l'écoulement décollé et du sillage, se forme une couche fortement cisailée ;
- Au niveau de la face au vent, se forme un écoulement descendant qui, à la rencontre du sol, forme un rouleau tourbillonnaire. Ce rouleau se déplace en aval

en contournant latéralement l'obstacle, formant des tourbillons dits en "fer à cheval".

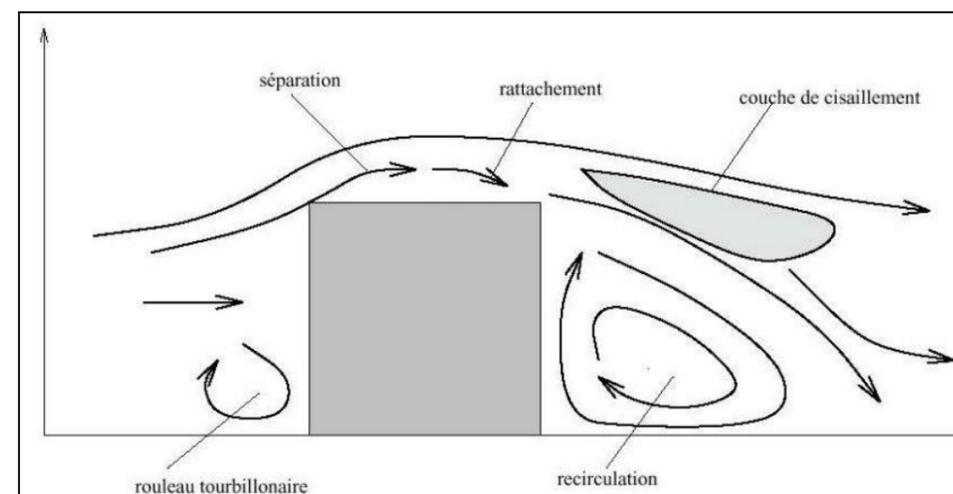


Figure 34 : Écoulement en présence d'un obstacle isolé [Turbelin, 2000]

L'effet de la topographie sur les mouvements atmosphériques diffère de l'effet d'un obstacle isolé. Un écoulement qui aborde transversalement une colline subit une ascendance le long du versant au vent, puis une descente le long du versant sous le vent. Au niveau du sommet, une zone de dépression et de survitesse se forme, tandis qu'au pied du versant au vent, l'air est ralenti (cf. figure).

Le rapport entre la vitesse moyenne incidente et la perturbation de vitesse au sommet est appelé "rapport fractionnaire de survitesse". Ce paramètre est proportionnel à la pente moyenne de l'obstacle  $H/L$ .

Quand la pente est faible, il se forme :

- Une couche interne, dans laquelle les perturbations sont principalement liées aux transferts turbulents ;
- Une couche externe, dans laquelle ils sont négligeables ;
- Une zone de sillage, située en aval de la topographie, dans laquelle la turbulence est importante.

Si la pente ou la rugosité augmentent fortement, une zone de recirculation se forme au pied du versant au vent et modifie les valeurs des survitesses.

S'agissant de la dispersion d'un panache produit, l'expérience permet d'admettre que :

- En atmosphère instable ou neutre, le panache suit les variations du relief ;
- En atmosphère stable, le panache reste horizontal et contourne le relief si la hauteur de celui-ci est supérieure à la hauteur effective du rejet.

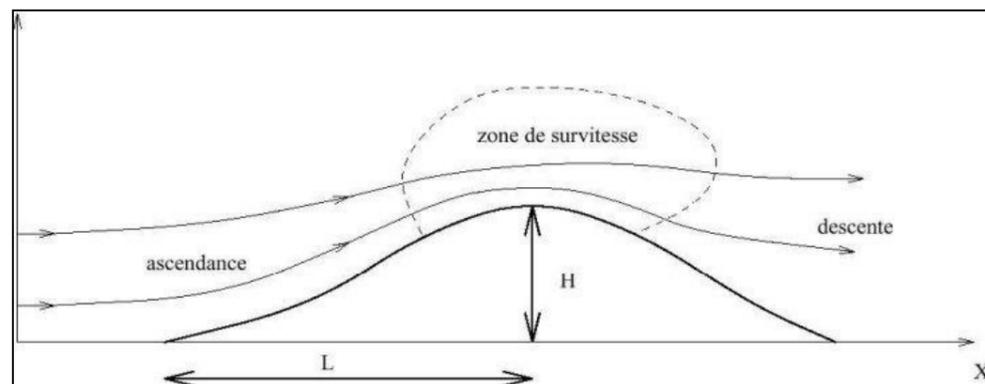


Figure 35 : Écoulement au-dessus d'une colline [Turbelin, 2000]

### Position de la route

La position de la route intervient sur la propagation des polluants générés par le trafic routier. Deux études (l'une allemande et l'autre japonaise) ont montré que les routes en remblai sont beaucoup plus favorables à la dispersion des polluants que les routes à niveau.

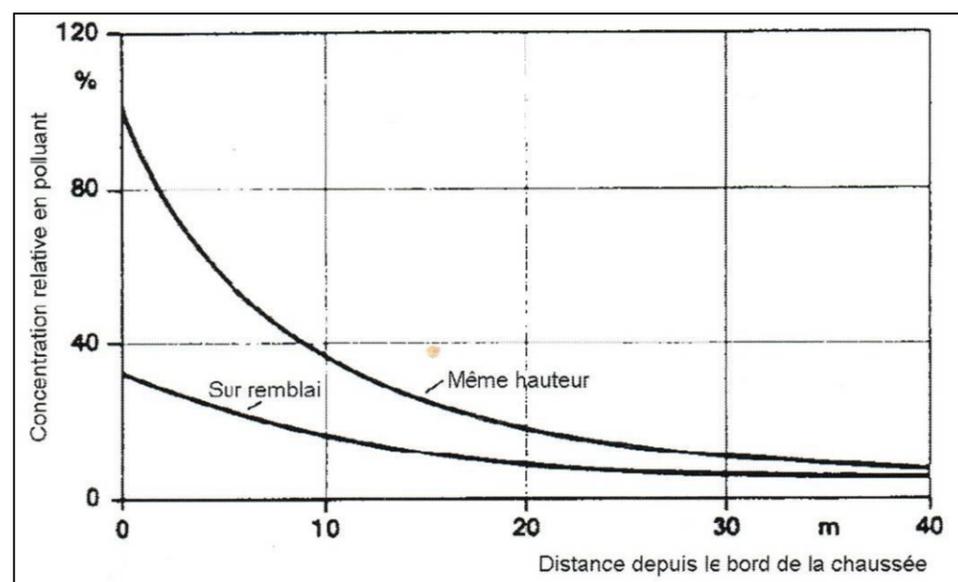


Figure 36 : Exemple allemand de la concentration relative en monoxyde d'azote pour diverses positions de la route en fonction de la vitesse de vent (vent favorable)

Il en ressort que la position de la route par rapport au niveau du sol influence la dispersion des polluants à proximité immédiate de la route (0 à 30 m). Au-delà, cette influence n'est plus perceptible.

### Plantation d'arbres

La plantation d'arbres et de buissons le long de la route est un moyen de réduire les niveaux de pollution à proximité de l'infrastructure.

La pollution concernée est de deux types : gazeuse (surtout primaire) et particulaire. Selon les caractéristiques de la zone végétale, la dispersion de l'un ou l'autre type de polluant sera influencée (dans certains cas, les deux).

Les caractéristiques à prendre en compte sont les suivantes :

- La profondeur ;
- La capacité filtrante (en particulier pour la pollution particulaire) ;
- La composition.

Selon une étude de l'ADEME<sup>1</sup>, l'implantation d'une ou plusieurs rangées d'arbres le long d'une voie peut avoir un triple impact contre la pollution atmosphérique :

- Les stomates des feuilles ou des aiguilles peuvent capter certains polluants, notamment le dioxyde d'azote et les particules (les espèces à feuille étant supposées plus efficaces, capables de filtrer 10 % du dioxyde d'azote) sans que des mesures *in situ* ne confirment ces données ;
- Les particules peuvent être adsorbées, autrement dit se déposer sur le végétal. Peu de mesures *in situ* ont été réalisées, mais 5 à 20 % des PM10 pourraient être concernées.
- Sous l'effet du vent, la dispersion des polluants est influencée : il peut y avoir un impact léger et difficilement observable.

Les barrières végétales constituent par ailleurs des obstacles qui influencent la dispersion des polluants sous l'action du vent. Cette dispersion dépend fortement des caractéristiques physiques de la barrière végétale et des conditions atmosphériques : force et direction du vent, stabilité de l'atmosphère.

Les études réalisées indiquent que :

- **En atmosphère turbulente**, l'impact de la barrière semble être négatif, avec des concentrations en polluants supérieures sur 90 mètres.
- **En atmosphère stable ou neutre**, d'après deux études distinctes (modélisation numérique et mesures *in situ*), il peut être observé :
  - Une très légère dégradation de la qualité de l'air à proximité de la route (jusqu'à 30 mètres derrière la barrière), en raison de la diminution locale des vitesses de vent et de phénomènes de turbulences ;

<sup>1</sup> Rapport ADEME. Impact des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique : Etat de l'art des études traitant de l'impact des aménagements routiers (solutions antibruit, solutions spécifiques) sur la pollution atmosphérique. Marché ADEME n° 1062c0037. Synthèse réalisée par Cap Environnement, 68 pages, Juillet 2011.

- Une légère amélioration entre 30 et 100 mètres derrière la barrière (l'abattement de pollution atteignant 5 à 10 %) ;
- Aucune modification au-delà de 100 mètres (les experts précisent que cet impact est léger et difficilement observable en raison de la variabilité des conditions atmosphériques lors des études menées jusqu'à ce jour).

Le document précise que toutefois la majorité des travaux réalisés montre en définitive que **l'effet des haies végétales sur la qualité de l'air est incertain et probablement faible**. Il n'est donc pas possible d'établir de recommandation.

*Nota Bene* : L'étude de l'ADEME ne s'est intéressée qu'aux haies végétales, mais il est intéressant de noter que la végétalisation des talus et des merlons peut suivre des caractéristiques équivalentes à celles-ci, selon une note méthodologique établie en 2005 par le CERTU.

### Murs antibruit et écrans acoustiques

Selon l'ADEME<sup>1</sup>, les effets des murs antibruit et des écrans acoustiques dépendent :

- Des conditions météorologiques (dont la stabilité de l'atmosphère) ;
- De la hauteur du mur et de sa position par rapport aux vents dominants.

En fonction de ces paramètres, l'effet sur la qualité de l'air peut être positif (diminution observée de 10 à 50 % des concentrations de particules et des oxydes d'azote) ou négatif (augmentation des concentrations de polluants).

La hauteur du mur antibruit influence directement la hauteur à laquelle les polluants seront émis. Les résultats en soufflerie ont montré que **plus le mur est haut, plus l'effet positif sur la qualité de l'air est important**. Une campagne de mesures grandeur nature corrobore ces résultats.

### L'association de différentes méthodes

Il existe de nombreuses combinaisons de méthodes : association de routes en contrebas ou en hauteur, talus, végétaux ou murs antibruit. L'ensemble de ces associations n'est pas intégralement étudié et il s'avère complexe de se prononcer sur la meilleure configuration à retenir. La figure suivante montre un exemple d'association où la combinaison de végétaux et d'un mur antibruit apparaît plus efficace qu'un mur seul<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Rapport ADEME. Impact des aménagements routiers sur la pollution atmosphérique : Etat de l'art des études traitant de l'impact des aménagements routiers (solutions antibruit, solutions spécifiques) sur la pollution atmosphérique. Marché ADEME n° 1062c0037. Synthèse, 68 pages, Juillet 2011.

<sup>2</sup> Effect of (optimised) noise barriers on air quality Test Site IPL A28. Hoogwerff, Jan. s.l. : IPL conference - Air quality alongside motorways.

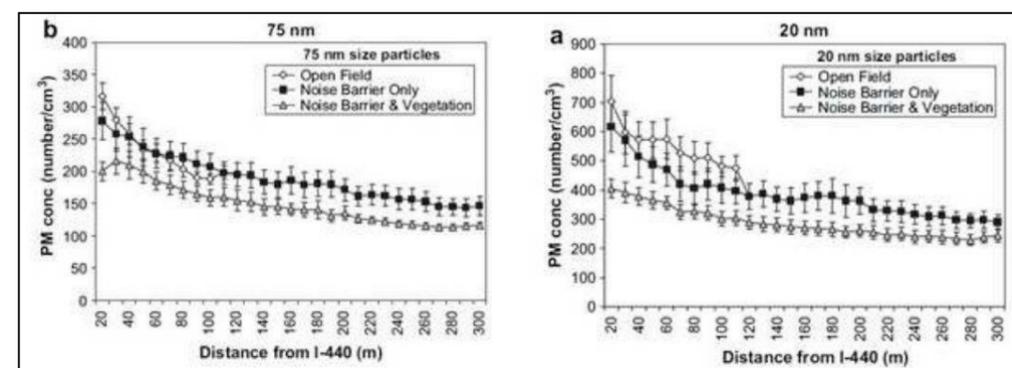


Figure 37 : Efficacité de différents types de murs antibruit

### Synthèse

L'utilisation d'obstacles physiques, tels que les murs antibruit ou les plantations d'arbres et de buissons en bordure d'infrastructures, peut permettre de réduire la pollution atmosphérique de proximité.

**Au-delà de 100 mètres, les effets de tels dispositifs sont négligeables.**

Par ailleurs, cette limitation de la pollution concerne les polluants dits 'primaires', c'est à dire ceux émis directement par les véhicules. Pour les polluants secondaires, tels que l'ozone, aucun effet n'a encore été mis en évidence.

Des études récentes indiquent qu'en la matière, aucune des solutions actuelles en matière de protection regardant la pollution atmosphérique (haies végétales, écrans anti-bruit, revêtements catalytiques, asphaltes poreux, etc.) ne peut être préconisée dans l'objectif de réduire efficacement la pollution atmosphérique.

A partir des connaissances et constats actuels, la réduction des émissions des véhicules, alliée ou non à des modifications de trafic et de conditions de circulation, peut influencer de façon significative sur la pollution atmosphérique engendrée à proximité des voies de circulation.