

AUTORITE CONCEDANTE



MAITRE D'OUVRAGE



BRETELLE SOUTERRAINE SCHLOESING

Marseille 8^{ème} et 10^{ème} arrondissements

Annexe 8.7

Étude air et santé



décembre 2017



I. CONTEXTE DU PROJET ET REGLEMENTATION

I.1. Contexte

LE PROJET

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la réalisation du tunnel Schloësing (prolongement du Tunnel Prado Carénage) à Marseille (13).

Cette nouvelle voie doit permettre de desservir les quartiers sud de Marseille en reliant le tunnel Prado Carénage au Boulevard de Schloësing par un débranchement du tunnel Prado Sud.

Le présent document porte sur le volet air & santé de cette opération suivant la réglementation existante.

Cette étude est réalisée pour le compte de SMTPC.

LA RÉGLEMENTATION

Les articles L220-1 et suivants du Code de l'Environnement, ancienne loi sur l'air du 30 décembre 1996, ont renforcé les exigences dans le domaine de la qualité de l'air et constituent le cadre de référence pour la réalisation des études d'environnement et des études d'impact dans les projets d'infrastructures routières.

L'article 19 de cette loi, complété par sa circulaire d'application 98-36 du 17 février 1998 énonce en particulier la nécessité :

- d'analyser les effets du projet routier sur la santé ;
- d'estimer les coûts collectifs des pollutions et des avantages induits ;
- de faire un bilan de la consommation énergétique.

Les méthodes et le contenu de cette étude sont définis par la circulaire interministérielle (Équipement/Santé/Écologie) 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'impact des infrastructures routières.

L'étude est menée conformément à :

- la note méthodologique sur « l'évaluation des effets sur la santé de la pollution de l'air dans les études d'impact routières » de février 2005, assortie de la circulaire EQUIPEMENT/ SANTE/ ECOLOGIE du 25/02/2005.
- l'annexe technique à la note méthodologique sur les études d'environnement « volet air » rédigée par le SETRA et le CERTU, pour la Direction des Routes du Ministère de l'Équipement des Transports de l'Aménagement du territoire du Tourisme et de la Mer et diffusée auprès des Préfets de région et de département par courrier daté du 10 juin 1999 signé du Directeur des Routes.

I.2. Niveau d'étude

La circulaire interministérielle DGS/SD 7 B n°2005-273 du 25 février 2005 définit le contenu des études "Air et Santé", qui se veut plus ou moins conséquent selon les enjeux du projet en matière de pollution de l'air et d'incidences sur la santé. Quatre niveaux d'étude sont ainsi définis en fonction des niveaux de trafics attendus à terme sur la voirie concernée et en fonction de la densité de population à proximité de cette dernière.

Trafic à l'horizon d'étude et densité (hab./ km ²) dans la bande d'étude	> 50 000 véh/j ou 5 000 uvp/h	25 000 véh/j à 50 000 véh/j ou 2 500 uvp/h à 5 000 uvp/h	≤ 25 000 véh/j ou 2 500 uvp/h	≤ 10 000 véh/j ou 1 000 uvp/h
G I Bâti avec densité ≥ 10 000 hab./ km ²	I	I	II	II si L projet > 5 km ou III si L projet < ou = 5 km
G II Bâti avec densité > 2 000 et < 10 000 hab./ km ²	I	II	II	II si L projet > 25 km ou III si L projet < ou = 25 km
G III Bâti avec densité ≤ 2000 hab./ km ²	I	II	II	II si L projet > 50 km ou III si L projet < ou = 50 km
G IV Pas de Bâti	III	III	IV	IV

Avec un trafic actuel supérieur à 40 000 veh/ j et une densité de bâti de plus de 10 000 habitants / km² dans certains quartiers (découpage IRIS) dans la bande d'étude, l'étude air et santé à réaliser est de **niveau I** conformément à la circulaire interministérielle DGS/DR/DPPR/D4E du 25 février 2005 précisant le contenu réglementaire des études air et santé relatives aux projets d'infrastructures routières.

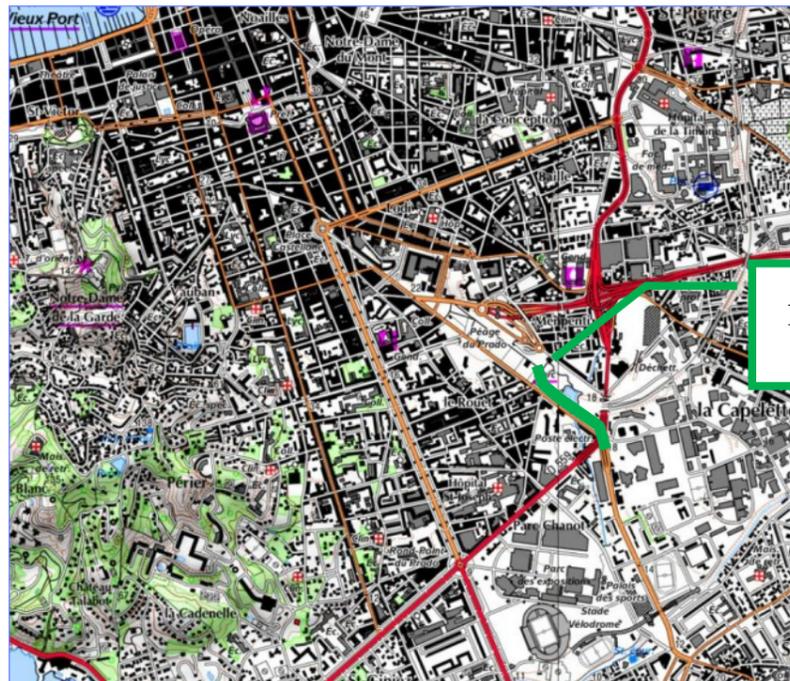
Les polluants à prendre en considération, définis sur une base réglementaire, sont les suivants :

- les NO_x ;
- le CO ;
- les hydrocarbures ;
- le benzène ;
- les particules émises à l'échappement ;
- le dioxyde de soufre.

Pour la pollution particulaire, on retiendra le nickel et le cadmium.

Le contenu des études est le suivant :

- estimation des émissions de polluants au niveau du domaine 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 (IPP = indice pollution - population) ;
- analyse des coûts collectifs de l'impact sanitaire des pollutions et des nuisances, et des avantages/inconvénients induits pour la collectivité.
- Evaluation quantitative des risques sanitaires sur le seul tracé retenu



Projet de tunnel de Schloësing

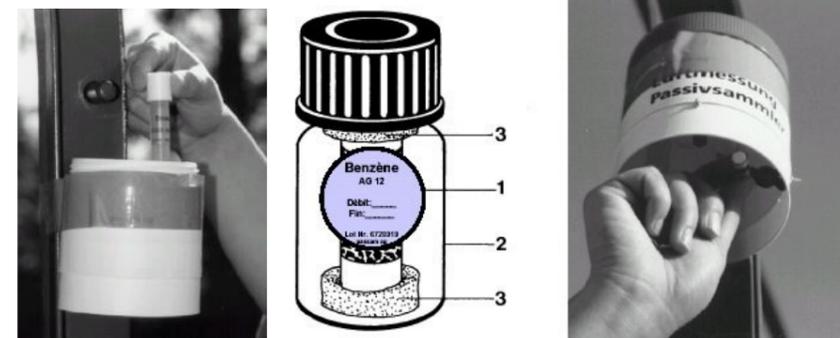
I.3. Méthodologie

I.3.1. Campagne de mesures

Les campagnes de mesures sont généralement réalisées sur 2 saisons différentes, elles s'intéressent aux principaux polluants d'origine automobile que sont le dioxyde d'azote (NO₂) et les BTEX. Ces polluants sont mesurés sur une durée de 15 jours à l'aide d'échantillonneurs passifs. Cette technique de mesure permet d'obtenir une évaluation de la concentration atmosphérique moyenne en polluant sur cette durée.

La méthodologie d'échantillonnage consiste en la suspension des échantillonneurs passifs dans une boîte qui les protège des intempéries. Ces boîtes sont placées à une hauteur de 2 à 2,5 mètres, en suspension libre, aux endroits de mesures choisis.

Méthodologie d'installation des tubes pour le dioxyde d'azote (gauche) et pour les BTEX (droite)



Les points sont répartis sur l'ensemble de la zone d'étude afin de caractériser au mieux la qualité de l'air sur les secteurs étudiés.

Les points de mesures sont caractéristiques d'un type de pollution selon leur emplacement. Ainsi, on distingue :

- ❖ les points de proximité trafic (T), situés à proximité d'un axe de circulation important ;
- ❖ les points de fond urbain (U), situés à proximité d'habitations et de la zone du projet.

Les tubes sont ensuite envoyés pour analyse dans un laboratoire Spécialisé (PASSAM dans le cas présent) qui permet d'indiquer les concentrations mesurées.

Une analyse et une interprétation des résultats obtenus est faite suivant la nature des tubes, leurs concentrations, les conditions météorologiques locales constatées pendant les mesures, les conditions de trafic (comptages) et les concentrations mesurées.

I.3.2. Calcul des émissions

Le calcul des émissions polluantes et de la consommation énergétique est réalisé à partir du logiciel **TREFIC™** distribué par Aria Technologies. Cet outil de calcul intègre la méthodologie **COPERT IV** issue de la recherche européenne (European Environment Agency) qui remplace sa précédente version COPERT III (intégrée dans l'outil ADEME-IMPACT fourni par l'ADEME).

La méthodologie COPERT IV est basée sur l'utilisation de facteurs d'émission qui traduisent en émissions et consommation l'activité automobile à partir de données qualitatives (vitesse de circulation, type de véhicule, durée du parcours...).

La méthode intègre plusieurs types d'émissions:

- les émissions à chaud produites lorsque les « organes » du véhicule (moteur, catalyseur) ont atteint leur température de fonctionnement. Elles dépendent directement de la vitesse du véhicule ;
- les émissions à froid produites juste après le démarrage du véhicule lorsque les « organes » du véhicule (moteur et dispositif de traitement des gaz d'échappement), sont encore froids et ne fonctionnent donc pas de manière optimale. Elles sont calculées comme des surémissions par rapport aux émissions « attendues » si tous les organes du véhicule avaient atteint leur température de fonctionnement (les émissions à chaud) ;
- les surémissions liées à la pente, pour les poids-lourds ;
- les surémissions liées à la charge des poids-lourds.

Elle intègre aussi :

- les corrections pour traduire les surémissions pour des véhicules anciens et/ou ayant un kilométrage important, et ce pour les véhicules essences catalysés ;
- les corrections liées aux améliorations des carburants.

Le logiciel TREFIC intègre également la remise en suspension des particules sur la base d'équations provenant de l'EPA et en y associant le nombre de jours de pluie annuel sur le site étudié.

Les vitesses très faibles (inférieures à 10 km/h) sont en dehors de la gamme de validité des facteurs d'émissions de la méthode COPERT IV (gamme de validité de 10 à 130 km/h). TREFIC™ associe un coefficient multiplicatif aux facteurs d'émissions déterminées à 10 km/h selon la méthode COPERT IV pour redéfinir les facteurs d'émissions des vitesses inférieures. Ce coefficient correspond au ratio entre la vitesse basse de validité, soit 10km/h, et la vitesse de circulation pour laquelle le facteur est estimé (par exemple pour une vitesse de circulation de 5 km/h, le coefficient appliqué est de 2). Toutefois, pour les vitesses inférieures à 3km/h, les incertitudes sont trop importantes et les facteurs d'émissions ne peuvent être recalculés.

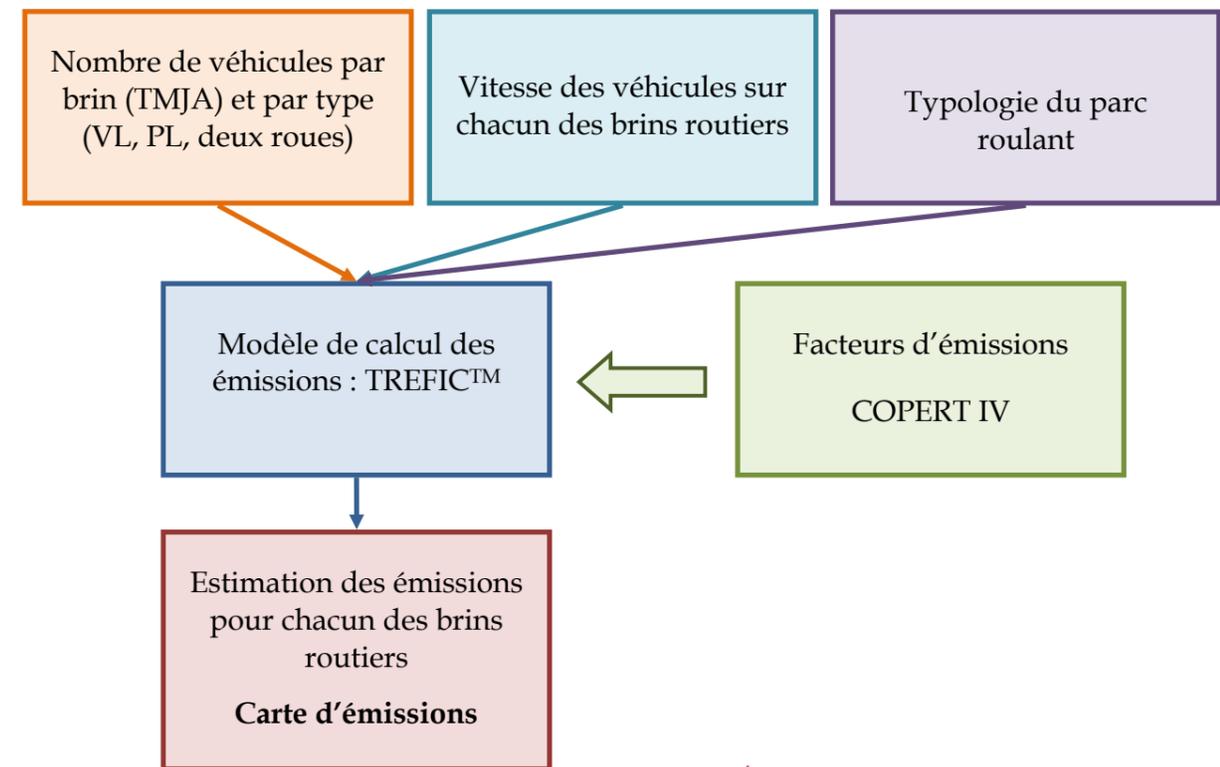


FIGURE 1 : METHODOLOGIE DE CALCUL DES ÉMISSIONS DU TRAFIC ROUTIER

I.3.3. Modélisation de la dispersion atmosphérique

I.3.3.1. Présentation générale du modèle utilisé

Le logiciel utilisé pour cette modélisation est le logiciel ARIA IMPACT 1.8. Ce logiciel permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact des émissions de plusieurs sources linéiques. Il permet de simuler plusieurs années de fonctionnement en utilisant des chroniques météorologiques représentatives du site. ARIA IMPACT ne permet pas de considérer les transformations photochimiques des polluants tels que l'ozone. En revanche, le logiciel prend en compte la conversion NO/NO₂ pour le trafic routier selon l'équation de Middleton.

I.3.3.2. Mise en œuvre des simulations

Les simulations mises en œuvre ont considéré :

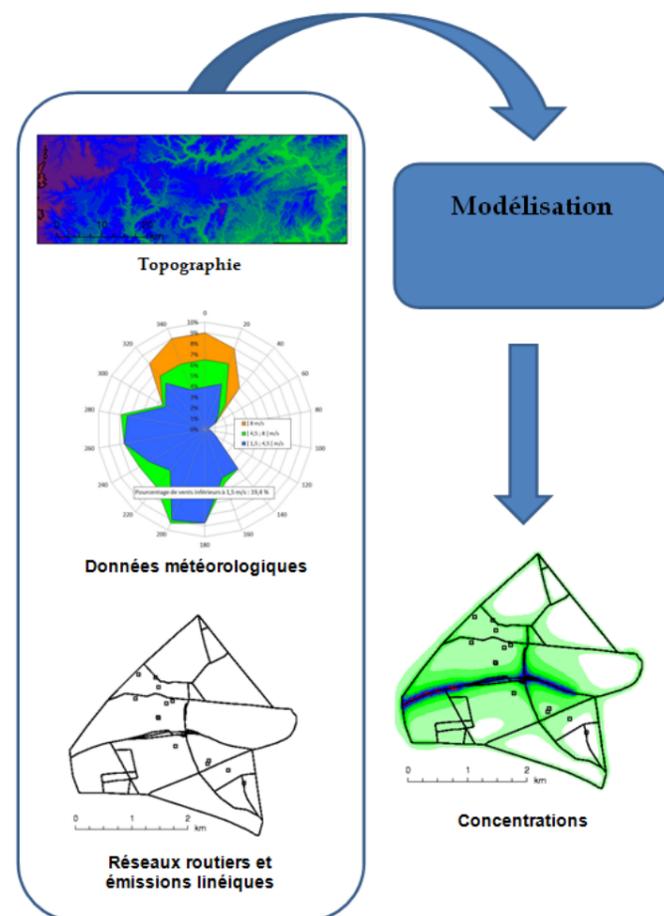
- Le relief de façon simplifiée (terrain plat)
- Les vents calmes,
- Un modèle de dispersion de Pasquill (modèle standard),
- Un dépôt sec sur le sol et une vitesse de chute due à la gravité des polluants pouvant s'assimiler à des particules. La vitesse de chute est calculée avec pour hypothèse un diamètre des particules de 10 microns pour les poussières (PM10). Cette hypothèse a tendance à sous-estimer très légèrement les concentrations des

particules dans l'air, notamment dans le cas de particules émises par le trafic automobile (particules de diamètre inférieure à 2,5µm).

Conformément à la note méthodologique annexée à la circulaire de février 2005 sur la prise en compte des effets de la pollution atmosphérique sur la santé humaine des projets d'infrastructures routières, les polluants pour lesquels on peut envisager d'effectuer une modélisation de la dispersion sont :

- Les oxydes d'azote (NO_x) dont le NO₂,
- Le monoxyde de carbone (CO),
- Le benzène (C₆H₆),
- Les particules émises à l'échappement (PM10),
- Le dioxyde de soufre (SO₂).

Il s'agit des principaux polluants faisant l'objet d'une réglementation stricte en matière de qualité de l'air.



I.3.4. Indice IPP

Le croisement des données de population et de concentration permet de fournir un indicateur « d'exposition » de la population. En effet, il est important, du point de vue de l'impact sur la

santé, de connaître les zones critiques caractérisées par des concentrations de polluant élevées et une population dense.

L'indice global d'exposition de la population à la pollution (ou IPP cumulé sur l'ensemble de la zone d'étude), représente la somme des expositions individuelles (ou par maille) des personnes soumises à la pollution d'origine routière :

$$IPP = \Sigma (\text{Population} \times \text{Concentration})$$

Les IPP par maille les plus forts correspondent :

- soit aux zones où la densité de population est la plus élevée,
- soit aux zones où les concentrations calculées sont les plus élevées,
- soit aux deux.

I.3.5. Analyse quantitative des risques sanitaires

L'évaluation quantitative des risques sanitaires est basée sur la méthodologie définie en 1983 par l'académie des sciences américaine, retranscrite depuis par l'InVS dans son guide pour *l'analyse du volet sanitaire des études d'impact*.

La démarche d'évaluation des risques sanitaires se décompose en 4 grandes étapes :

1. Identification des dangers qui consiste en l'identification la plus exhaustive possible des substances capables de générer un effet sanitaire indésirable.
2. Définition des relations dose-réponse ou dose-effet qui a pour but d'estimer le lien entre la dose d'une substance mise en contact avec l'organisme et l'apparition d'un effet toxique jugé critique. Cette étape se caractérise par le choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour chaque toxique étudié.
3. Évaluation de l'exposition des populations qui permet de juger du niveau de contamination des milieux, de définir les populations potentiellement exposées et de quantifier l'exposition de celles-ci.
4. Caractérisation des risques qui est une étape de synthèse des étapes précédentes permettant de quantifier le risque encouru pour la ou les population(s) exposées. Par ailleurs, cette étape reprend des incertitudes évaluées à chacune des étapes.

I.3.6. Analyse des coûts collectifs

Les émissions de polluants atmosphériques issus du trafic routier sont à l'origine d'effets variés : effets sanitaires, impact sur les bâtiments, atteintes à la végétation et réchauffement climatique.

L'instruction du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport a officialisé les valeurs des coûts externes établies par le rapport « Boîteux II ». Ces valeurs ne couvrent pas tous les effets externes mais elles concernent notamment 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, rural), une valeur de l'impact, principalement sanitaire, de la pollution atmosphérique.

Cette instruction est annulée et remplacée par celle du 16 juin 2014 qui présente le cadre général de l'évaluation des projets de transports, en application des dispositions des articles L.1511-1 à L.1511-6 du code des transports et du décret n°84-617 du 17 juillet 1984. La note technique du 27 juin 2014 présente entre autre, la méthodologie à appliquer pour la monétarisation des émissions liées directement ou indirectement au trafic routier en s'appuyant sur :

- l'«évaluation socioéconomique des investissements publics» de septembre 2013 du commissariat à la stratégie et à la prospective (mission présidée par Emile Quinet) ;
- « la valeur tutélaire du carbone » de septembre 2009 du centre d'analyse stratégique (mission présidée par Alain Quinet).

Deux externalités sont étudiées :

- la pollution atmosphérique afin d'intégrer les effets sur la santé, le bâti et la végétation ;
- les émissions de gaz à effet de serre pour évaluer le coût du réchauffement climatique.

La pollution atmosphérique

La monétarisation des effets de la pollution atmosphérique repose sur l'analyse de quatre polluants ou famille de polluants : le SO₂, les NO_x, les PM_{2.5} et les COVNM. Les impacts suivants sont considérés dans la monétarisation :

- Particules (PM_{2.5}) : effets sanitaires (mortalité et morbidité) ;
- NO_x : effets sur la santé (via nitrates et O₃), eutrophisation des milieux et effet fertilisation des sols agricoles (via nitrates), pertes de cultures (via O₃) ;
- SO₂ : santé (via sulfates), acidification des milieux, pertes de cultures ;
- COVNM : effets sanitaires (via O₃), pertes de cultures (via O₃).

Les valeurs tutélaires par type de véhicules sont calculées à partir de la somme des coûts en €/véh.km de chaque polluant. Chaque coût (défini par polluant) correspond au produit du facteur d'émission (en g/km) par le coût marginal (en €/g) des impacts sanitaires et environnementaux des émissions du polluant considéré (Équation 1).

$$\text{Valeur Tutélaire}_v = \sum_p^n (F_{vp} * C_p) \quad \text{ÉQUATION 1}$$

Avec :

v : type de véhicule

p : polluant considéré

F_{vp} : facteur d'émission d'un type de véhicule v pour le polluant p (en g/km)

C_p : coût marginal du polluant p (en €/g)

Valeur tutélaire_v : valeur tutélaire du type de véhicule p (en €/km)

Les effets sanitaires étant intrinsèquement liés à la présence ou non de population, les valeurs tutélaires sont ensuite modulées en fonction de la densité. Le tableau ci-dessous reprend les facteurs associés et les densités de population considérées.

FACTEURS MULTIPLICATIFS DE DENSITÉ DE POPULATION POUR LE CALCUL DES COÛTS SANITAIRE LORSQUE L'INFRASTRUCTURE PASSE D'UNE ZONE À L'AUTRE

Interurbain à urbain diffus	Urbain diffus à urbain	Urbain à urbain dense	Urbain dense à urbain très dense
*10	*3	*3	*3

DENSITÉ DE POPULATION DES ZONES TRAVERSÉES PAR L'INFRASTRUCTURE

hab/km ²	Interurbain	Urbain diffus	Urbain	Urbain dense	Urbain très dense
Fourchette	< 37	37-450	450-1 500	1500 -4 500	> 4500

Afin d'intégrer la variabilité des émissions en fonction de la vitesse de circulation, les facteurs d'émission de chaque polluant sont pondérés par un coefficient dépendant des classes de densité précédemment décrites. Il est en effet considéré que la vitesse décroît en fonction de l'augmentation de l'urbanisation (et donc de la densité de population). Le tableau suivant reprend les différents coefficients. Ces ajustements sont basés sur les facteurs d'émission COPERT IV.

COEFFICIENTS DE VITESSE POUR LE CALCUL DES FACTEURS D'ÉMISSIONS LORSQUE L'INFRASTRUCTURE PASSE D'UNE ZONE À UNE AUTRE

	Interurbain à urbain diffus	Urbain diffus à urbain	Urbain à urbain dense	Urbain dense à urbain très dense
VL NO _x	/1,5	/1,3	*1	*1,5
VL PM _{2.5}	/1,5	/1,7	*1	*1,3
PL NO _x	*1,1	*1,2	*1	*1,6
PL PM _{2.5}	*1	*1,2	*1	*2

NB : les facteurs des VP sont également appliqués aux deux roues et VUL ; de même, les facteurs PL sont appliqués aux bus également.

Les valeurs tutélaires sont estimées en euro 2010 sur la base d'un parc roulant de 2010. La variation annuelle des valeurs tutélaires au-delà de 2010 correspond la somme des pourcentages de variation des émissions routières et du PIB par habitant.

La note méthodologique conseille d'utiliser comme taux d'évolution pour les émissions routière :

- -6% par an de 2010 à 2020 estimé sur la base des facteurs d'émission COPERT IV ;
- à partir de 2020 et sur la période de référence de la future directive sur les plafonds nationaux, la variation est calculée sur la base des nouveaux plafonds d'émissions réglementaires pour la France ;
- au-delà de la période de la future directive, les émissions sont considérées comme constantes.

En l'absence de la directive sur les plafonds d'émission et afin d'être cohérent avec la réalité des émissions automobiles, la baisse des émissions est estimée pour la période de 2020 à 2030 selon le

même procédé que de 2010 à 2020, soit sur la base des facteurs d'émissions (COPERT IV) et du parc automobile français disponibles jusqu'en 2030 (parc IFFSTAR). Cette méthodologie aboutie à une baisse annuelle similaire, soit 6 %. A partir de 2030, les émissions sont considérées comme constantes ce qui constitue une hypothèse majorante mais conforme à la note méthodologique.

Concernant la variation du PIB par habitant, il est estimé sur la base :

- des projections INSEE de la population française jusqu'en 2060 ;
- d'un PIB variant jusqu'en 2030 selon l'évolution du PIB de ces 15 dernières années ;
- d'un PIB croissant au-delà de 2030 au taux de 1,5% (hypothèse courante en socio-économie).

Les émissions de gaz à effet de serre

Le coût des émissions de gaz à effet de serre (exprimé en équivalent CO₂) est issu d'un arbitrage cherchant à concilier des enjeux environnementaux, énergétiques et économiques. Divers modèles macroéconomiques ont été utilisés et ont abouti à une forte volatilité du coût de la tonne de CO₂. Le choix s'est donc orienté vers un prix à l'horizon 2030 de 100 € la tonne de CO₂, correspondant à la moyenne des valeurs obtenues par les modèles et jugé raisonnable dans une perspective volontariste par les experts de la mission (« la valeur tutélaire du carbone », mission présidée par Alain Quinet). Les évolutions sont ensuite basées sur une approche plus théorique que les modèles précédemment utilisés. Pour les évolutions post-2030, la règle de Hotling ajustée est utilisée. Cette règle issue de l'économie de l'environnement considère que le changement climatique peut être ramené aux règles de gestion dans le temps d'une ressource rare. Les engagements français en termes de plafond d'émission constituent la réserve de CO₂ et un taux de 4,5 % par an est retenu. Concernant les évolutions avant 2030, il a été choisi d'utiliser le coût de la tonne CO₂ déjà estimée lors du rapport Boiteux II pour l'année 2010 soit 32 € et de la faire varier jusqu'à 2030 pour atteindre la valeur pivot des 100 € (soit environ 5,8 %).

I.3.6.1. Valeurs tutélares

Coûts liés à la qualité de l'air

Le tableau suivant présente les valeurs tutélares liées aux émissions polluantes du transport routier.

VALEURS TUTÉLAIRES (€/100 VÉH.KM) DÉCLINÉES PAR TYPE DE VÉHICULE

€/2010/100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VP	15,8	4,3	1,7	1,3	0,9
VP Diesel	20,4	5,5	2,2	1,6	1,1
VP Essence	4,5	1,3	0,6	0,5	0,5
VP GPL	3,6	1	0,4	0,3	0,2
VUL	32,3	8,7	3,4	2,4	1,6
VUL Diesel	33,7	9,1	3,5	2,5	1,6
VUL Essence	6,3	1,9	0,9	0,8	0,8
PL diesel	186,6	37	17,7	9,4	6,4
Deux-roues	8,7	2,5	1	0,8	0,5
Bus	125,4	24,8	11,9	6,3	4,2

Les valeurs tutélares, faisant une distinction entre la motorisation des VP et VUL (essence, diesel ou GPL), ont été pondérées en fonction de la répartition du parc roulant des années étudiées et de la typologie du parc (urbain, rural ou autoroutier).

Les données sont regroupées dans le tableau suivant :

RÉPARTITION DU TYPE DE MOTORISATION EN FONCTION DE L'ANNÉE ET DE LA TYPOLOGIE DE L'AXE ROUTIER

Parc	Urbain		Rural		Autoroutier	
	2017	2042	2017	2042	2017	2042
VP essence	22,7%	15,7%	19,0%	14,7%	17,6%	11,8%
VP diesel	77,1%	83,9%	80,8%	84,9%	82,2%	87,8%
VP GPL	0,2%	0,4%	0,2%	0,4%	0,2%	0,3%
VUL essence	0,4%	0,1%	0,4%	0,1%	0,6%	0,1%
VUL diesel	99,5%	99,8%	99,5%	99,7%	99,3%	99,7%

Les valeurs sont recalculées et présentées dans le tableau suivant pour les VP et VUL.

VALEUR TUTÉLAIRES (EN €₂₀₁₀/100 VÉH.KM) DÉCLINÉES PAR TYPE DE VÉHICULE PAR ANNÉE ET PAR TYPOLOGIE DE VOIE

Catégorie	Année	Typologie	Urbain Très dense (€/100 véh.km)	Urbain dense (€/100 véh.km)	Urbain (€/100 véh.km)	Urbain diffus (€/100 véh.km)	Interurbain (€/100 véh.km)
VP	2017	Urbain	16,8	4,5	1,8	1,3	1,0
		Rural	17,3	4,7	1,9	1,4	1,0
		Autoroutier	17,6	4,8	1,9	1,4	1,0
	2042	Urbain	17,8	4,8	1,9	1,4	1,0
		Rural	18,0	4,9	2,0	1,4	1,0
		Autoroutier	17,6	4,8	1,9	1,4	1,0
VUL	2017	Urbain	33,6	9,1	3,5	2,5	1,6
		Rural	33,6	9,1	3,5	2,5	1,6
		Autoroutier	33,5	9,1	3,5	2,5	1,6
	2042	Urbain	33,6	9,1	3,5	2,5	1,6
		Rural	33,6	9,1	3,5	2,5	1,6
		Autoroutier	33,6	9,1	3,5	2,5	1,6

Les valeurs tutélaires pour les horizons 2017 et 2042 sont modulées en fonction des variations annuelles du PIB par habitant et des émissions récapitulées dans le tableau suivant :

VARIATION ANNUELLE DU PIB PAR TÊTE ET DES ÉMISSIONS POUR CHAQUE HORIZON D'ÉTUDE

	2017	2042
Pourcentage annuel d'évolution des émissions depuis 2010	-6,00%	-3,79%
Pourcentage annuel d'évolution du PIB par tête depuis 2010	0,72%	1,03%
Pourcentage annuel d'évolution total	-5,28%	-2,77%

Coût unitaire lié à l'effet de serre additionnel

Les valeurs tutélaires de la note méthodologique de 2017 sont récapitulées ci-dessous :

VALEUR TUTÉLAIRES DE LA TONNE DE CO₂

	T CO2 en euro 2010
2010	32,0
2017	47,7
2042	169,6

Les émissions de CO₂ du projet sont estimées à partir des facteurs d'émissions de COPERT IV.

II. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1. Situation géographique

Le projet se situe dans les Bouches du Rhône sur la commune de Marseille (13).

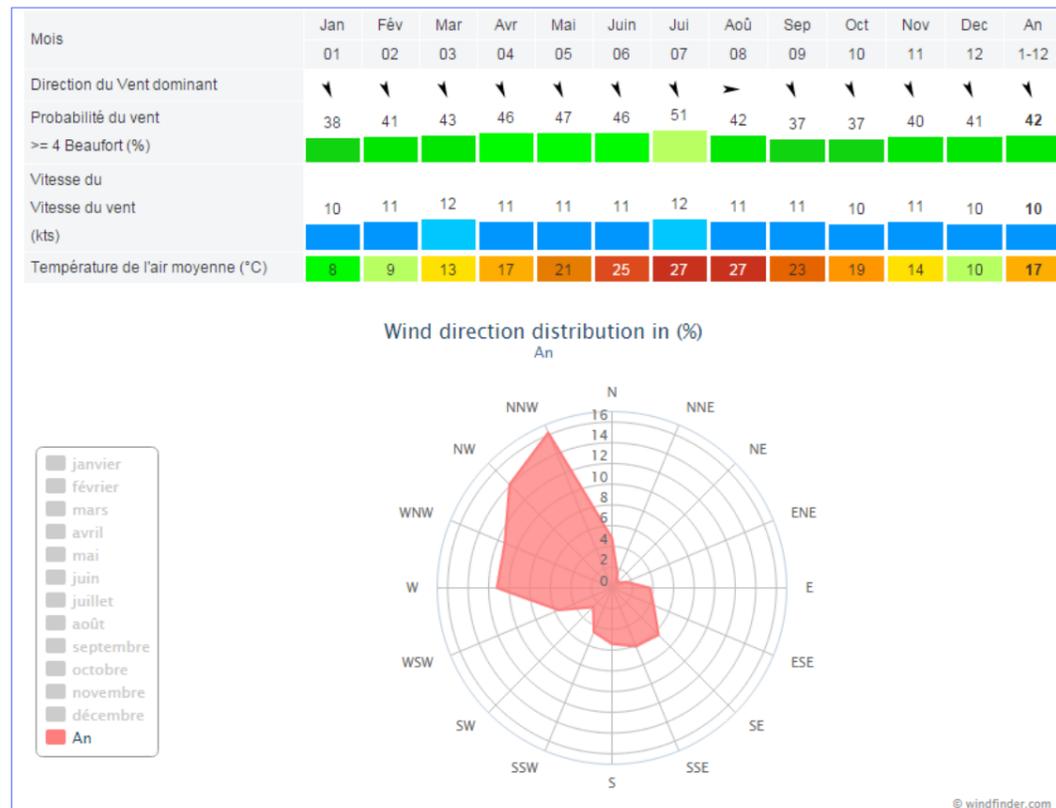
Le projet débute au niveau du tunnel Prado Sud (zone souterraine), et se termine au niveau du Boulevard de Schloësing (zone aérienne).

II.2. Topographie

La topographie de type péri urbaine est ici peu marquée: le point le plus bas de la commune est à 0 mètre au niveau de la mer Méditerranée et le point le plus haut est à 242 mètres au niveau du quartier des Trois Lucs (12ème arrondissement). Situé au Sud Est de la France, Marseille est bordée par la Méditerranée. On y trouve plusieurs reliefs bien distincts : la chaîne de l'Estaque (278 mètres), le massif de l'Etoile (779 mètres), le Garlaban (731 mètres), le massif de Saint Cyr (646 mètres), le mont Puget (563 mètres) & le massif de Marseilleveyre (432 mètres).

II.3. Climatologie

Le climat de Marseille est typiquement méditerranéen. La ville bénéficie d'une durée exceptionnelle d'ensoleillement, avec plus de 2 800 heures de soleil par année, notamment grâce au mistral, vent froid et sec qui souffle en moyenne 93 jours par an. Il y a en moyenne 515 mm de précipitations par an – elles sont les plus faibles de France au sein de la rade marseillaise, moins de 300 mm par an sur l'île Pomègues²⁷ – et 57 jours de pluie (dont 39 dépassant 2,5 mm) principalement en automne-hiver. La température moyenne à Marseille est de 15,5 °C.



Note : Les statistiques ci-dessus sont basées sur les observations entre 10/2000 et 02/-2015

Source : fr.windfinder.com

II.4. Transports

La Régie des transports de Marseille (RTM), régie publique, gère les transports urbains au sein de l'organisme Transmétropole de la Communauté urbaine.

❖ Voies routières et autoroutières :

Marseille est le point d'aboutissement sud de la grande transversale nord-sud constituée par les autoroutes A1, A6 et A7 reliant Lille à Marseille via Paris et Lyon, ainsi que de toutes les autoroutes affluentes, dont l'A9/A54 en provenance de Nîmes et l'A51d'Aix-en-Provence. L'autoroute Nord est ainsi la principale porte d'entrée routière de la ville : elle traverse tout le nord de la ville et aboutit en centre-ville, à la porte d'Aix.

❖ Transport ferroviaire :

La gare de Marseille-Saint-Charles, aboutissement de la ligne Paris-Lyon-Marseille, est inaugurée en 1848. La gare devient alors et pendant longtemps le point de passage obligé des voyageurs vers l'Afrique ou le Moyen-Orient. L'électrification de la ligne est achevée en 1962. L'ouverture de la LGV Sud-est en 1981 signe l'arrivée du TGV. La ligne est prolongée en 2001 par la LGV Méditerranée, qui met Paris à trois heures de Marseille.

❖ Transports en commun :

Marseille compte 119 lignes de bus qui desservent l'ensemble de la ville ainsi qu'Allauch, Plan-de-Cuques et Septèmes-les-Vallons sur un réseau de 950 km. Les parcours et la numérotation des lignes de bus reprennent encore en grande partie ce qu'étaient le réseau de l'ancien tramway de Marseille presque entièrement supprimé à partir des années 1960.

En raison de l'étendue de la ville et des difficultés de circulation, la vitesse moyenne des bus de Marseille est relativement lente, à 12 km/h. Un dispositif de vidéo-verbalisation est mis en place afin de libérer les voies de bus du stationnement et améliorer la fluidité du trafic des autobus.

Le réseau de métro comporte deux lignes représentant 21,5 km et 30 stations. La première ligne a été ouverte en 1977, la dernière extension date de 2010. Une station supplémentaire (Capitaine-Gèze) est en travaux sur la ligne 2, après le terminus actuel de Bougainville.

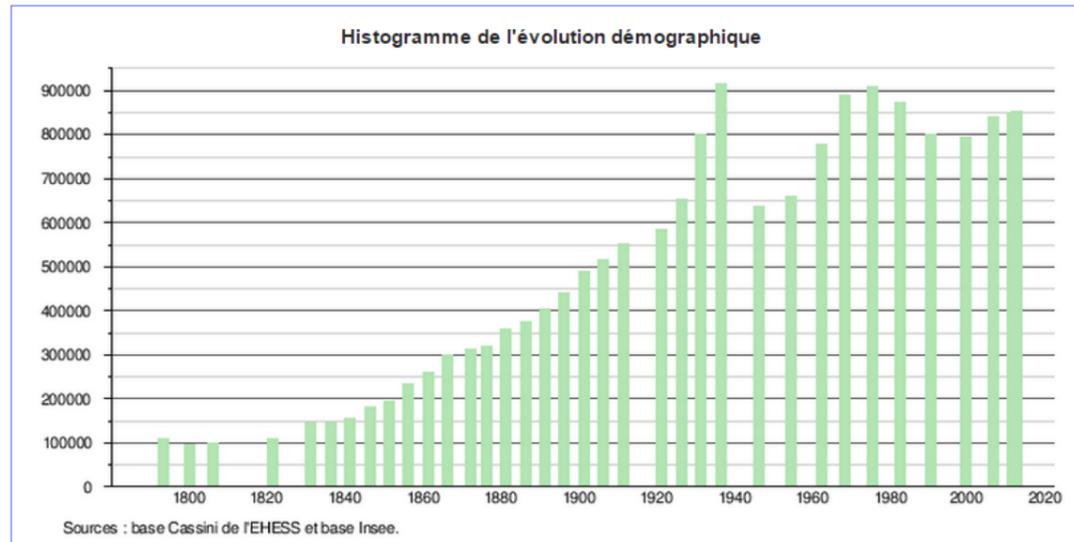
Le tramway compte deux lignes totalisant 11,5 km et 28 arrêts. Le réseau a été ouvert en 2007 et fait encore l'objet de travaux d'extensions.

Trois lignes de bus à haut niveau de service ont été mises en service en 2014 et une autre est prévue.

II.5. Population

II.5.1. L'évolution démographique

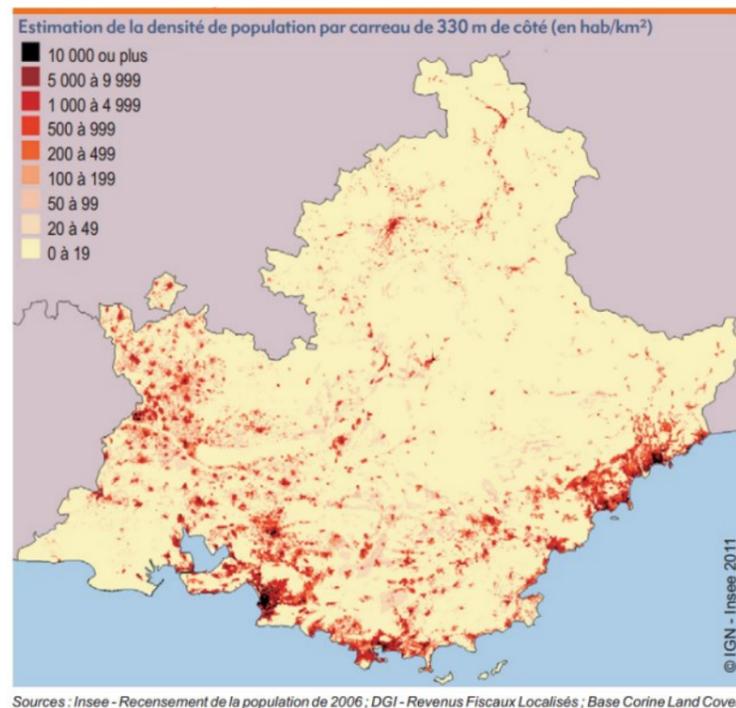
En 2012, la commune comptait 852 516 habitants. L'évolution du nombre d'habitants est connue à travers les recensements de la population effectués dans la commune depuis 1793.



II.5.2. La densité démographique

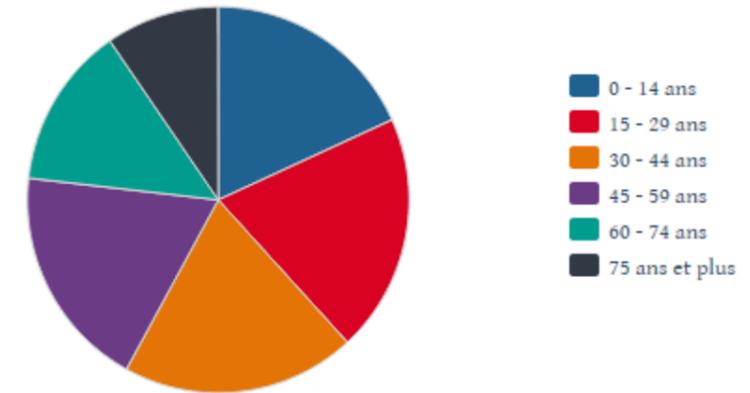
Avec une superficie de 240 km², la densité de la population s'élève à près de 3 543 habitants/km².

La carte ci-dessous présente l'estimation de la densité de population par carreau de 330 m de côté dans la région PACA (en hab./km²) :



II.5.3. La démographie par tranche d'âges

ENFANTS, JEUNES, ADULTES ET PERSONNES AGEES A MARSEILLE (2011)



NOMBRE D'HABITANTS PAR CLASSE D'ÂGE À MARSEILLE (2011)

Données 2011	Marseille : nombre habitants	% de la population	Moyenne des villes
Moins de 15 ans	154 997	18,2 %	18,6 %
15 - 29 ans	170 051	20,0 %	13,9 %
30 - 44 ans	168 667	19,8 %	19,7 %
45 - 59 ans	159 532	18,8 %	21,9 %
60 - 74 ans	115 433	13,6 %	16,2 %
75 ans et plus	81 956	9,6 %	9,7 %

II.6. Sources industrielles

Du point de vue économique, l'industrie régionale n'arrive qu'en 5ème position au niveau national. En région PACA, les activités industrielles sont principalement implantées sur le pourtour de l'étang de Berre (chimie de base, métallurgie et construction navale), dans les Alpes Maritimes (chimie fine, parfumerie et électronique) et dans le Var (construction navale).

L'activité industrielle génère des rejets dans le milieu aqueux, majoritairement dans les Bouches du Rhône. Le secteur de la sidérurgie est principalement à l'origine de rejets de plomb et de chrome, celui de la chimie de mercure et de composés organo-halogénés et celui du raffinage et de la pétrochimie d'hydrocarbures et de cadmium. L'industrie rejette également des polluants dans l'air, notamment du SO₂, du CO₂, du CO, des métaux lourds et des dioxines. Les émissions industrielles de SO₂ ont connu une forte diminution depuis 20 ans mais des efforts doivent encore être faits pour réduire les rejets de NO_x et de COV.

L'arrondissement d'Istres dans les Bouches du Rhône, concentre la majorité des émissions de ces polluants. La problématique des risques industriels est particulièrement présente dans la région, notamment dans la zone de l'étang de Berre qui concentre plus de 70 % des établissements SEVESO II les plus à risque de la région (43 sur 60 établissements).

En moyenne, au niveau régional, 4,5 % de la population sont concernés par un Plan particulier d'intervention (PPI). Ce pourcentage varie de 0 dans les Hautes Alpes à 9 % dans les Bouches du Rhône.

Dans le domaine des pollutions et des risques industriels, il existe aujourd'hui de nombreux textes réglementaires visant à limiter les émissions de certains polluants, évaluer, prévenir et gérer le risque.

Des évaluations de l'impact potentiel des rejets environnementaux sur la santé des riverains ne sont à notre connaissance pas disponibles, notamment pour les riverains de zones comme celle de Fos-Berre, concentrant des activités industrielles lourdes et variées qui occasionnent de multiples rejets.

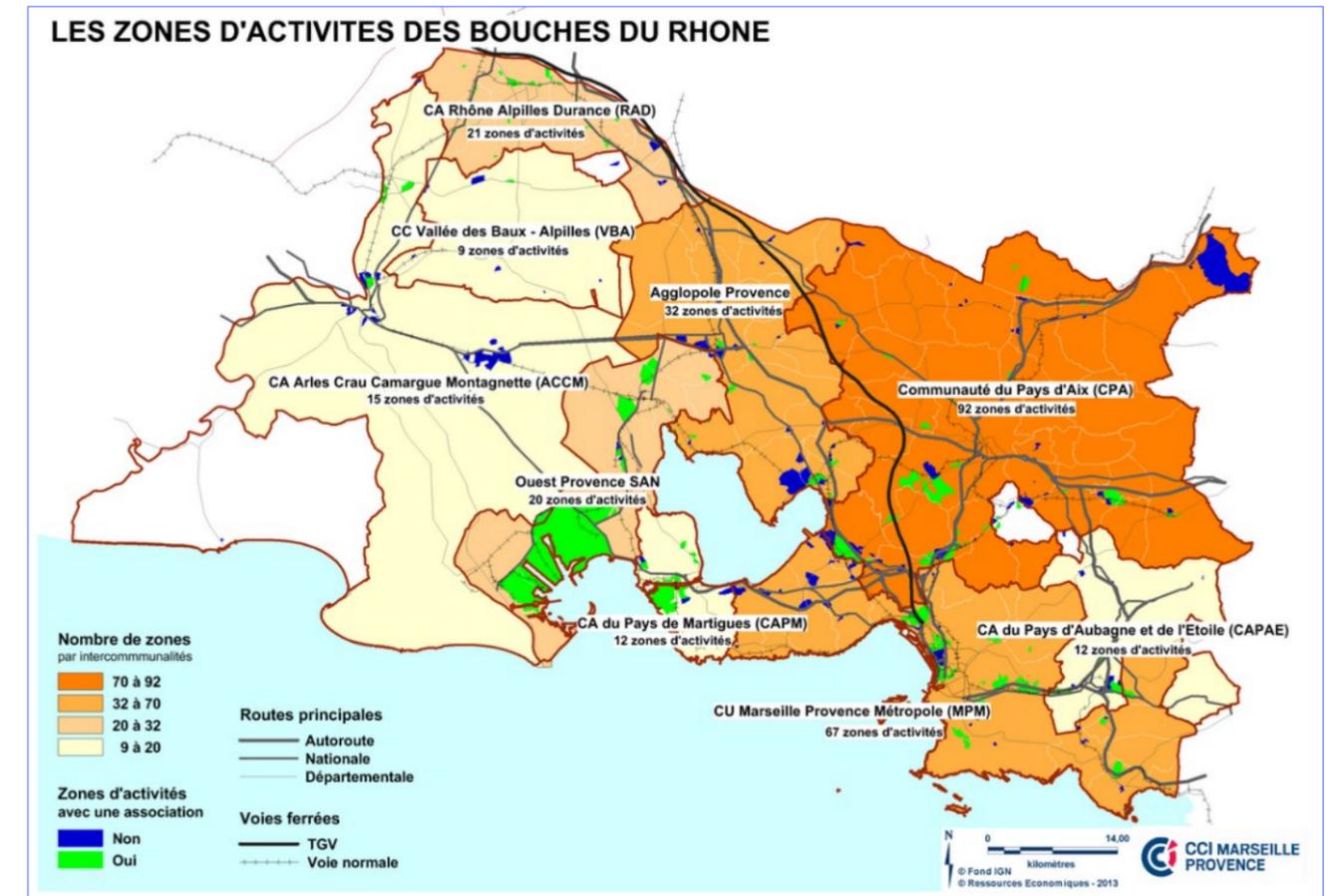
❖ Impact sur la qualité de l'air

Le secteur industriel a également un impact sur la qualité de l'air. Les installations de combustion, les raffineries, les sites pétrochimiques, les sites sidérurgiques, les cimenteries participent de façon plus ou moins importante à l'émission de divers polluants (dioxyde de soufre, oxydes d'azote, métaux lourds), de gaz à effet de serre et à la pollution photochimique (émissions des précurseurs de l'ozone).

Toutefois, pour la plupart de ces polluants, les rejets nationaux sont en nette diminution : entre 1990 et 2002, les émissions de SO₂ ont diminué de 60 % (l'industrie reste le principal émetteur), celles de NO_x de 29 %, celles de COVNM de 38 % (l'industrie manufacturière est le premier émetteur), celles de plomb de 95 % (l'industrie manufacturière est le premier émetteur), les dioxines et furannes de 78 % [CITEPA, 2004a]. En PACA, entre 1994 et 2000, les émissions ont diminué de 48 % pour le SO₂ (66 % en France sur la même période) et de 2 % pour les NO_x (22 % en France) [CITEPA, 1995 ; CITEPA, 2004b]. Les législations européennes et nationales ont en effet

permis de mieux encadrer les pratiques et d'inciter les industriels à rechercher de nouvelles technologies plus respectueuses de l'environnement. L'industrie doit cependant poursuivre ses efforts ou engager des actions vis-à-vis de la pollution photochimique, avec, en particulier, la réduction des émissions de COV et de NO_x.

LES ZONES D'ACTIVITES DES BOUCHES DU RHONE

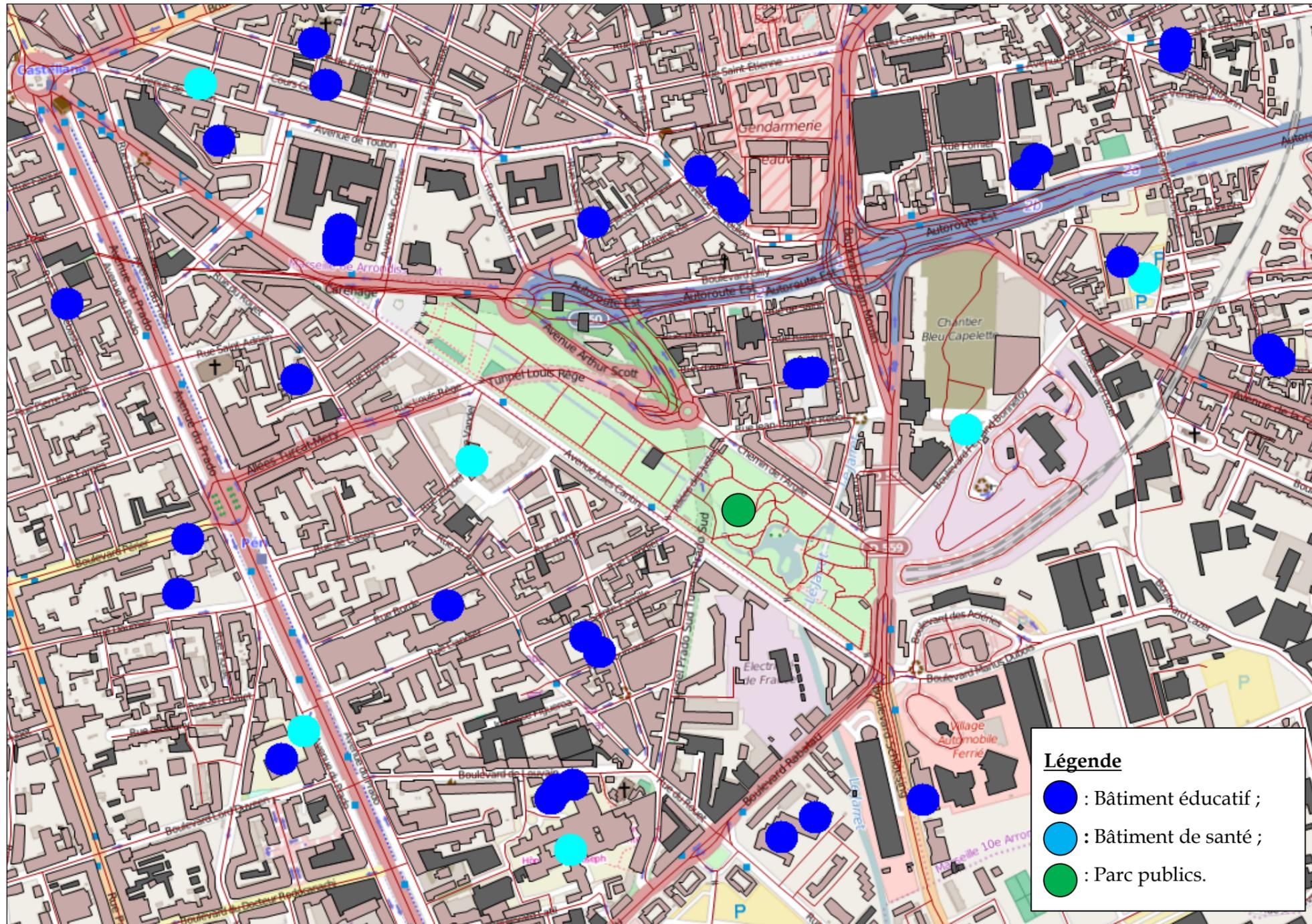


II.7. Points sensibles

Les points sensibles correspondent aux zones regroupant les personnes les plus sensibles, telles que les enfants et les personnes âgées. Ainsi les points sensibles répertoriés au niveau de la zone d'étude sont les écoles, les maisons de retraites, les hôpitaux, les stades...

L'ensemble de ces points sont localisés sur la carte ci-dessous :

LOCALISATION DES POINTS SENSIBLES AU NIVEAU DE LA ZONE D'ÉTUDE



III. ANALYSE DE LA SITUATION INITIALE

Ce chapitre a pour objectif de décrire la qualité de l'air de la zone d'étude à partir de données bibliographiques, puis de présenter les investigations menées sur site par CIA. Cette première analyse bibliographique s'appuie sur les éléments suivants :

- la nature des principaux polluants atmosphériques réglementés et surveillés en France et en Europe,
- les valeurs seuils françaises réglementaires pour la prévention de la qualité de l'air,
- le dispositif de surveillance de la qualité de l'air dans la zone d'étude,
- les sources d'émissions principales, en France et dans la zone d'étude en particulier,
- les données du contexte régional basées sur le Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE) d'avril 2012 (qui se substitue au Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA) et l'inventaire des émissions de polluants atmosphériques fait par le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique).

III.1. Principaux polluants indicateurs de la pollution automobile

Selon le guide du CERTU (CERTU, 2005), les polluants à prendre en considération pour une étude de niveau I, définis sur une base réglementaire, sont les suivants :

- les oxydes d'azote (NO_x),
- le monoxyde de carbone (CO),
- le benzène (C₆H₆),
- les particules émises à l'échappement (PM10),
- le dioxyde de soufre (SO₂)
- pour la pollution particulière : le nickel et le cadmium.

❖ Les oxydes d'azote (NO_x)

Les émissions d'oxydes d'azote apparaissent dans toutes les combustions utilisant des combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole...), à hautes températures.

Les oxydes d'azote sont des polluants caractéristiques de la circulation routière. Le secteur des transports est en effet responsable de 53 % des émissions totales de NO_x (les moteurs diesel en rejettent deux fois plus que les moteurs à essence à pots catalytiques). Les transports fluviaux et maritimes français représentent quant à eux 4,2 % des émissions (CITEPA, 2008a).

Le bilan des mesures de surveillance de la qualité de l'air au niveau national montre qu'entre 2000 et 2007, dans la plupart des agglomérations, les concentrations de dioxyde d'azote mesurées par les stations urbaines ont baissé d'environ 40 %. Ces évolutions sont essentiellement à mettre en relation avec les modifications des véhicules (pots catalytiques).

Le dioxyde d'azote, selon la concentration et la durée d'exposition, peut entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyperréactivité bronchique chez les personnes asthmatiques, augmenter la sensibilité des bronches aux infections microbiennes chez les enfants. Les oxydes d'azote sont aussi à l'origine de la formation de l'ozone, un gaz qui a des effets directs sur la santé.

❖ Le monoxyde de carbone (CO)

Tous les secteurs d'activité anthropique contribuent aux émissions de CO, gaz inodore et incolore. Leur répartition est variable en fonction de l'année considérée. En 2006, les trois secteurs contribuant le plus aux émissions de la France métropolitaine sont (CITEPA, 2008a):

- le résidentiel/tertiaire (33 %),
- l'industrie manufacturière (32 %),
- le transport routier (24 %).

La diésélisation du parc automobile (un véhicule diesel émet 25 fois moins de CO qu'un véhicule à essence) et l'introduction de pots catalytiques ont contribué à une baisse des émissions de CO dans le secteur automobile (56 % des émissions totales en France en 1990 contre 24 % en 2006). Il convient toutefois de nuancer ces données du fait de l'augmentation du parc automobile et du nombre de voitures particulières non dépolluées en circulation.

Du point de vue de son action sur l'organisme, après avoir traversé la paroi alvéolaire des poumons, le monoxyde de carbone se dissout dans le sang puis se fixe sur l'hémoglobine en bloquant l'apport d'oxygène à l'organisme. Aux concentrations rencontrées dans les villes, il peut être responsable d'angines de poitrine, d'épisodes d'insuffisance cardiaque ou d'infarctus chez les personnes sensibles.

Le système nerveux central et les organes sensoriels sont souvent les premiers affectés (céphalées, asthénies, vertiges, troubles sensoriels) et ceci dans le cas d'une exposition périodique et quotidienne au CO (émis par exemple par les pots d'échappement).

❖ Le benzène (C₆H₆)

Le benzène est un hydrocarbure faisant partie de la famille des composés organique volatils. Il fait l'objet d'une surveillance particulière car sa toxicité reconnue l'a fait classer par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) parmi les « cancérogènes certains pour l'homme » (leucémie myéloïde aiguë).

Les émissions totales de benzène en 2006 sont de 54 933 tonnes, soit 4,2 % des émissions totales de COVNM. Le principal émetteur de benzène est le résidentiel-tertiaire (76 %) en particulier du fait de la combustion du bois, suivi du transport routier avec 15 % (CITEPA, 2008d).

Les émissions de benzène ont baissé de près de 37 % entre 2000 et 2006, essentiellement dans le transport routier (- 54 %), le résidentiel-tertiaire (- 35 %) et dans le secteur de la transformation d'énergie (- 26 %).

Le benzène est un polluant dont la surveillance est relativement récente mais qui tend à se densifier (le réseau de mesure français est passé de 10 stations en 2000 à 42 en 2006).

Le recul est encore insuffisant pour déterminer une tendance d'évolution des niveaux de pollution. Néanmoins, on constate entre 2000 et 2006 que, globalement, les concentrations annuelles en site urbain sont restées relativement stables et qu'elles ont diminué à proximité de zones industrielles et pour les sites de mesures de type « trafic » (MEDD, 2006).

❖ Les particules en suspension (PM) ou poussières

En ce qui concerne les émissions de particules en suspension de diamètre inférieur à 10 microns (poussières dites PM10), de nombreux secteurs sont émetteurs (CITEPA, 2008b), en particulier :

- l'agriculture/sylviculture (30 %), en particulier les labours,
- l'industrie manufacturière (28 %), en particulier les chantiers et le BTP ainsi que l'exploitation de carrières,
- le résidentiel/tertiaire (27 %), en particulier la combustion du bois et, dans une moindre mesure, du charbon et du fioul,
- le transport routier (11 %).

Les émissions en France métropolitaine sont en baisse de 29 % entre 1990 et 2006. Cette baisse est engendrée en partie par les progrès technologiques tels que l'amélioration des techniques de dépoussiérage (CITEPA, 2008b).

Depuis 2000, et mise à part l'année 2003 aux conditions climatiques exceptionnelles, les concentrations ambiantes en PM10 sont à peu près constantes (MEDD, 2006).

En termes de risques sanitaires, la capacité de pénétration et de rétention des particules dans l'arbre respiratoire des personnes exposées dépend du diamètre aérodynamique moyen des particules. En raison de leur inertie, les particules de diamètre supérieur à 10 µm sont précipitées dans l'oropharynx et dégluties, celles de diamètre inférieur se déposent dans l'arbre respiratoire, les plus fines (<2-3 µm) atteignant les bronches secondaires, bronchioles et alvéoles.

A court terme, les particules fines provoquent des affections respiratoires et asthmatiques et sont tenues responsables des variations de l'activité sanitaire (consultations, hospitalisations) et d'une mortalité cardio-vasculaire ou respiratoire. A long terme, on s'interroge sur le développement des maladies respiratoires chroniques et de cancers.

❖ Le dioxyde de soufre (SO₂)

C'est le polluant caractéristique des grandes agglomérations industrialisées. Il provient principalement du secteur de la transformation d'énergie (48 % des émissions en 2006) en particulier du fait des activités de raffinage du pétrole et de la production d'électricité (CITEPA, 2008a). Une faible partie (1% du total des émissions en 2006) provient des moteurs diesels en raison du soufre contenu dans le gazole. Le transport maritime français représente quant à lui 1,6 % du total des émissions (CITEPA, 2008a)

La tendance générale observée par les réseaux de mesure de la qualité de l'air est une baisse des teneurs en dioxyde de soufre. Cette baisse a été amorcée depuis le début des années 1980 (du fait de la diminution des émissions globales de 86 % en France entre les inventaires CITEPA de 1980 et 2006), en particulier grâce à la baisse des consommations d'énergie fossile, la baisse de la teneur maximale en soufre du gazole des véhicules (du fait de la réglementation) ou encore grâce aux

progrès réalisés par les exploitants industriels en faveur de l'usage de combustibles moins soufrés et l'amélioration du rendement énergétique des installations.

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires supérieures (entraînant des toux et des gênes respiratoires). Les asthmatiques y sont particulièrement sensibles. Le SO₂ agit de plus en synergie avec d'autres polluants notamment les particules fines en suspension.

❖ Les métaux

Les métaux principalement surveillés dans l'air ambiant en France sont l'arsenic (As), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni). Ils sont présents dans l'atmosphère sous forme solide associés aux fines particules en suspension.

Les métaux proviennent de la combustion des charbons, pétroles, déchets ménagers et de certains procédés industriels (activités de raffinage, métallurgie...).

Les métaux s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques à court ou long terme. Les effets varient selon les composés. Certains peuvent affecter le système nerveux, d'autres les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires ou autres...

La surveillance des métaux en air ambiant est récente. Il est ainsi difficile d'analyser une tendance d'évolution des niveaux de pollution.

III.2. Valeurs et seuils réglementaires

Source : décret n°2010-1250 du 12 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air

Les niveaux de concentration de chacune des substances polluantes sont évalués par référence à des seuils réglementaires définis comme suit.

DÉFINITION DES SEUILS RÉGLEMENTAIRES DE RÉFÉRENCE

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

FIGURE 2 : NORMES DE QUALITÉ DE L' AIR PAR POLLUANT

Polluants	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuils d'alerte	Niveau critique
Dioxyde d'azote (NO ₂)	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ .	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ .	En moyenne horaire : 200 µg/m ³ .	En moyenne horaire : 400 µg/m ³ dépassé sur 3 heures consécutives. 200 µg/m ³ si dépassement de ce seuil la veille, et risque de dépassement de ce seuil le lendemain.	
	En moyenne horaire : 200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an.				
Oxydes d'azote (NO _x)					En moyenne annuelle (équivalent NO ₂) : 30 µg/m ³ (protection de la végétation).
Dioxyde de soufre (SO ₂)	En moyenne journalière : 125 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an. En moyenne horaire : depuis le 01/01/05 : 350 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 24 heures par an.	En moyenne annuelle : 50 µg/m ³ .	En moyenne horaire : 300 µg/m ³ .	En moyenne horaire sur 3 heures consécutives : 500 µg/m ³ .	En moyenne annuelle et hivernale (pour la protection de la végétation) : 20 µg/m ³ .
Plomb (Pb)	En moyenne annuelle : 0,5 µg/m ³ .	En moyenne annuelle : 0,25 µg/m ³ .			
Particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres (PM ₁₀)	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ . En moyenne journalière : 50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an.	En moyenne annuelle : 30 µg/m ³ .	En moyenne journalière : 50 µg/m ³ .	En moyenne journalière : 80 µg/m ³ .	
Monoxyde de carbone (CO)	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures : 10 000 µg/m ³ .				
Benzène (C ₆ H ₆)	En moyenne annuelle : 5 µg/m ³ .	En moyenne annuelle : 2 µg/m ³ .			

Polluant	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuils d'alerte	Valeurs cibles
Ozone (O ₃)	Seuil de protection de la santé , pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures : 120 µg/m ³ pendant une année civile. Seuil de protection de la végétation , AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 6 000 µg/m ³ .h	En moyenne horaire : 180 µg/m ³ .	Seuil d'alerte pour une protection sanitaire pour toute la population , en moyenne horaire : 240 µg/m ³ sur 1 heure Seuils d'alerte pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence , en moyenne horaire : 1er seuil : 240 µg/m ³ moyenne horaire dépassée pendant trois heures consécutives. 2e seuil : 300 µg/m ³ moyenne horaire dépassée pendant trois heures consécutives. 3e seuil : 360 µg/m ³ en moyenne horaire	Seuil de protection de la santé : 120 µg/m ³ pour le max journalier de la moyenne sur 8h à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile en moyenne calculée sur 3 ans. Seuil de protection de la végétation : AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 18 000 µg/m ³ .h en moyenne calculée sur 5 ans.

* AOT 40 (exprimé en µg/m³.heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ et le seuil de 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs sur 1 heure mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures. (40 ppb ou partie par milliard=80 µg/m³)

Polluants	Valeurs cibles*
Arsenic	6 ng/m ³
Cadmium	5 ng/m ³
Nickel	20 ng/m ³
Benzo(a)pyrène	1 ng/m ³
(utilisé comme traceur du risque cancérigène lié aux Hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP)	

* Moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM₁₀.

III.3. L'indice ATMO

L'indice ATMO, quotidiennement diffusé au grand public, est un indicateur qui permet de caractériser chaque jour la qualité de l'air de par un chiffre compris entre 1 (très bonne) et 10 (très mauvaise).



FIGURE 3 : ÉCHELLE DE L'INDICE ATMO

Quatre polluants (NO_2 , SO_2 , O_3 et PM_{10}) entrent en compte dans la détermination de cet indice. En effet, de la concentration de ces quatre polluants résultent quatre sous-indices (voir tableau ci-après). Le sous-indice le plus élevé définit l'indice ATMO du jour.

Les données nécessaires pour le calcul journalier de chaque sous-indice sont :

- la moyenne des concentrations maximales horaires observées pour le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2) et l'ozone (O_3),
- la moyenne des concentrations journalières observées pour les particules fines (PM_{10}).

III.4. Actions relatives à la qualité de l'air en PACA

III.4.1. Stratégie de surveillance de la qualité de l'air en région PACA

La stratégie de surveillance intègre la dimension régionale avec l'objectif d'aboutir à une surveillance plus complète de l'air de la région à l'horizon 2015.

Les éléments principaux pris en compte sont :

- L'état de la qualité de l'air par rapport aux seuils réglementaires,
- L'exposition des populations à la pollution,
- Les questions locales liées à l'aménagement et à la qualité de l'air,
- Les problématiques locales particulières (zones protégées, établissements sensibles, zones agricoles utilisant des pesticides, activités émettrices d'une pollution spécifique).

Afin de mieux appréhender les spécificités locales, le territoire de la région a été découpé en Zones Administratives de Surveillance (ZAS), réglementaires au niveau européen, puis en aires de surveillance, permettant de cibler les attentes locales.

Ce découpage en ZAS suit désormais des règles nationales afin de pouvoir plus facilement comparer la surveillance des différentes régions. Dans chacune de ces ZAS et de ces Aires, tous les outils de surveillance d'Air PACA ont été déclinés pour aboutir à une couverture adaptée à chaque territoire.



FIGURE 4 : DÉCOUPAGE DE LA RÉGION EN ZONES ADMINISTRATIVES DE SURVEILLANCE

La zone d'étude est située dans la zone administrative d'Aix-Marseille

III.4.2. Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE)

III.4.2.1. Cadre du projet de SRCAE

Le cadre du Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) a été défini par la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement.

Le SRCAE de Provence-Alpes-Côte d'Azur a été approuvé par l'assemblée régionale le 28 juin 2013 et arrêté par le préfet de région le 17 juillet 2013. Il remplace l'ancien Plan Régional pour la Qualité de l'Air.

III.4.2.2. Objectifs et orientations du SRCAE

Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) définit des orientations régionales à l'horizon de 2020 et 2050 en matière de lutte contre la pollution atmosphérique, de maîtrise de la demande énergétique, de développement des énergies renouvelables, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'adaptation aux changements climatiques.

Les objectifs stratégiques du SRCAE définis aux horizons 2020, 2030 et 2050 traduisent la volonté de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur de s'inscrire dans une perspective de transition énergétique permettant l'atteinte du facteur 4 en 2050, c'est-à-dire la division par 4 des émissions de GES par rapport à leur niveau de 1990 :

Objectifs du SRCAE	Référence (2007)	2015	2020	2030
Consommation finale d'énergie	13.8 Mtep	-	-13%	-25%
Consommation d'énergie par habitant	2.7 tep	-	-20%	-33%
Émissions de gaz à effet de serre (GES)	47.7 Mteq CO ₂	-	-20%	-35%
Part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie	10%	-	20%	30%
Émissions d'oxydes d'azote (NOx)	123 000 tonnes	-	-40%	
Émissions de particules fines (PM 2,5)	15 000 tonnes	-30%		

FIGURE 5 : OBJECTIFS DU SRCAE - SRCAE PACA - LES GRANDES LIGNES

Le SRCAE définit 45 orientations permettant l'atteinte de ces objectifs. Parmi ces orientations, 7 sont spécifiques à la qualité de l'air :

- Réduire les émissions de composés organiques volatils précurseurs de l'ozone afin de limiter le nombre et l'intensité des épisodes de pollution à l'ozone ;
- Améliorer les connaissances sur l'origine des phénomènes de pollution atmosphérique et l'efficacité des actions envisageables ;

- Se donner les moyens de faire respecter la réglementation vis-à-vis du brûlage à l'air libre ;
- Informer sur les moyens et les actions dont chacun dispose à son échelle pour réduire les émissions de polluants atmosphériques ou éviter une surexposition à des niveaux de concentrations trop importants ;
- Mettre en œuvre, aux échelles adaptées, des programmes d'actions dans les zones soumises à de forts risques de dépassements ou à des dépassements avérés des niveaux réglementaires de concentrations de polluants (particules fines, oxydes d'azote) ;
- Conduire, dans les agglomérations touchées par une qualité de l'air dégradée, une réflexion systématique sur les possibilités d'amélioration, en s'inspirant du dispositif ZAPA ;
- Dans le cadre de l'implantation de nouveaux projets, mettre l'accent sur l'utilisation des Meilleures Techniques Disponibles et le suivi de Bonnes Pratiques environnementales, en particulier dans les zones sensibles d'un point de vue de la qualité de l'air.

III.4.3. Plan Climat Energie Territorial

Un Plan Climat Energie Territorial (PCET) est un programme d'actions en faveur du développement durable sur un territoire. Intégré au volet "climat énergie" de l'Agenda 21 local, ce projet s'inscrit dans la continuité des politiques volontaristes menées par le Conseil général des Bouches-du-Rhône dans ce domaine. Il s'agit là d'une véritable opportunité d'agir en collaboration avec les acteurs locaux et la population.

L'objectif premier de ce PCET est l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre pour limiter l'impact du territoire sur le climat. En consommant moins d'énergie, en faisant évoluer les modes de transports, et en développant les énergies renouvelables (éolien, solaire, ...), chaque acteur du département contribue à une diminution de ses émissions de gaz à effet de serre.

En prenant en compte les évolutions du climat dans les décisions à long terme (urbanisme, prévention des risques, reconversion d'activités), et en acceptant des conditions de vie différentes, le Conseil Général espère réduire la vulnérabilité du territoire face aux changements climatiques.

III.4.4. Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)

Le PPA, issu de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Titre III, article 8) est un outil permettant au Préfet de prendre des mesures pour lutter contre la pollution atmosphérique.

Il est obligatoire pour les agglomérations de plus de 250 000 habitants et les zones dans lesquelles le niveau dans l'air ambiant de l'un au moins des polluants, évalué conformément aux dispositions des articles R. 221-1 à R. 221-3, dépasse ou risque de dépasser une valeur limite ou une valeur cible mentionnée à l'article R. 221-1.

Le PPA des Bouches-du-Rhône a été approuvé le 17 mai 2013.

Sur la ZAS Aix-Marseille, les risques de dépassement de valeurs limites se concentrent autour **des principaux axes de circulation et dans les centres villes de Marseille et Aix-en-Provence.**

III.5. Bilan des émissions en région PACA

III.5.1. Emissions totales en région PACA

Dans le cadre de l'élaboration du Plan Régional pour la Qualité de l'Air, institué par la Loi sur l'Air (30 décembre 1996), le SRCAE a réalisé un inventaire des émissions en région PACA. Cet inventaire, vise à identifier les principales sources d'émissions de chaque polluant et à estimer leur évolution.

Les polluants étudiés dans le cadre de cet inventaire sont : le dioxyde de soufre (SO₂), les composés organiques volatils non méthaniques (COV_{NM}), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x), les particules fines (PM₁₀ ou particules de diamètre inférieur à 10 µm) le Plomb et l'Arsecenic.

TABLEAU DES ÉMISSIONS DES PRINCIPAUX POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES EN RÉGION PACA (2007) :

Polluant	Oxydes d'azote (NO _x)	Monoxyde de carbone	Dioxyde de soufre	Composés Organiques Volatils	Particules fines PM ₁₀	Particules fines PM _{2,5}
Émissions (en kt)	123	396	89	189	21	15

III.5.2. Émissions par secteur d'activité

Le tableau suivant présente pour le SO₂, les COV_{NM}, le CO, les NO_x, les PM₁₀, les PM_{2,5} par secteur d'activité de la région PACA :

Source : SRACE PACA

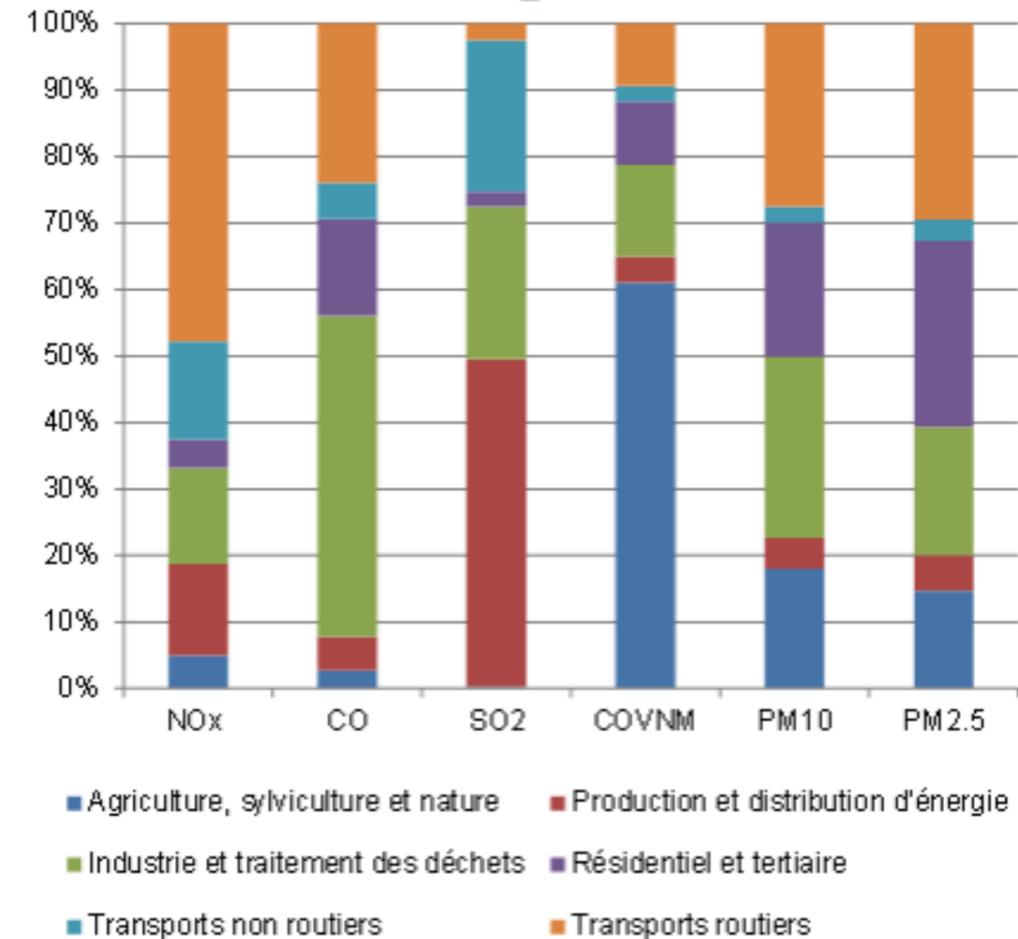
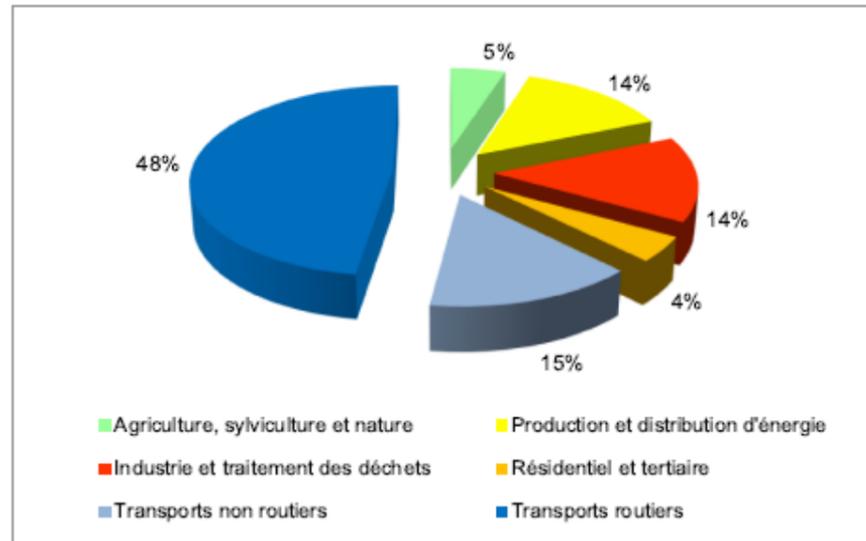


FIGURE 6 : RÉPARTITION SECTORIELLE DES ÉMISSIONS DES PRINCIPAUX POLLUANTS EN RÉGION PACA

❖ Oxydes d'azote (NOx)

Les émissions de NPx sont de l'ordre de 123 kt par an. Les transports routiers représentent près de la moitié des émissions totales d'oxydes d'azote. Les reste des émissions est principalement réparti entre les transports non routiers, les activités industrielles et de traitement des déchets et la production-distribution d'énergie.

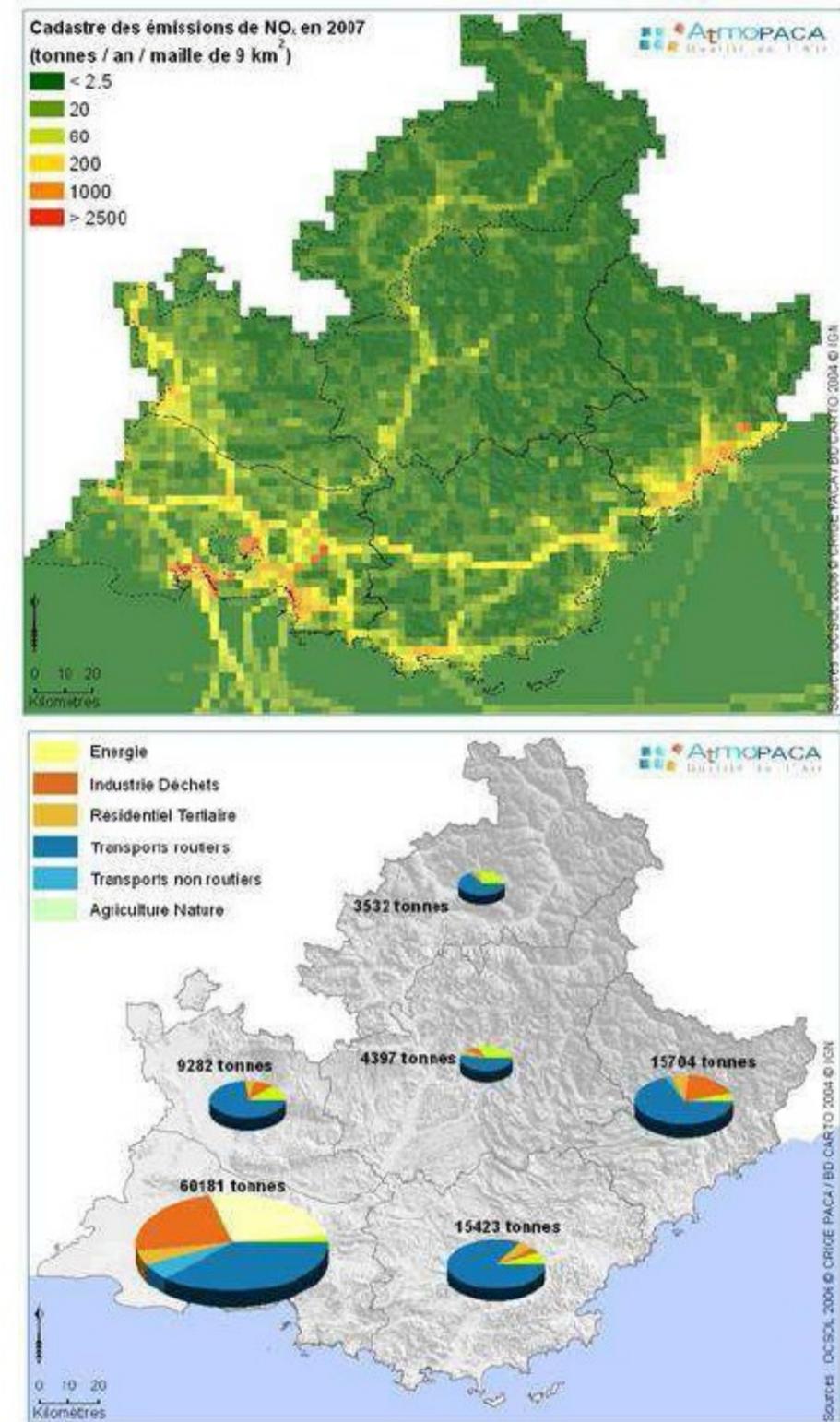
RÉPARTITION SECTORIELLE DES ÉMISSIONS DE NOx EN 2007 (SOURCE: AIR PACA)



Cette pollution, émise principalement par les déplacements, est par définition dans les zones les plus peuplées, comme le montre la carte du haut ci-contre. La prédominance du secteur des transports routiers est observée dans tous les départements (carte ci-contre).

A noter : Par transformation chimique, les oxydes d'azote sont également à l'origine d'autres pollutions, comme l'ozone ou les aérosols secondaires (particules).

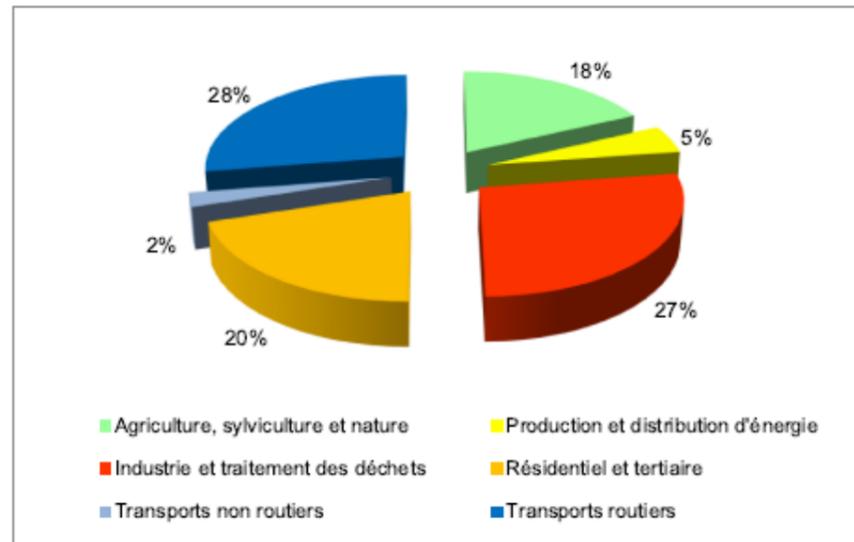
CARTES DES EMISSIONS DE NOx EN REGION (SOURCE : AIR PACA)



❖ Particules fines (PM10)

Les émissions de PM10 sont de l'ordre de 15 kt par an. Elles sont réparties à peu près équitablement entre activités industrielles et traitement des déchets (28%), transports routiers (27), résidentiel/tertiaire (20%) et activités agricoles (15%). Enfin, la production/distribution et le transports non routier émettent respectivement 5 et 2% des émissions.

RÉPARTITION SECTORIELLE DES ÉMISSION DE PM10 EN 2007 (SOURCE: AIR PACA)

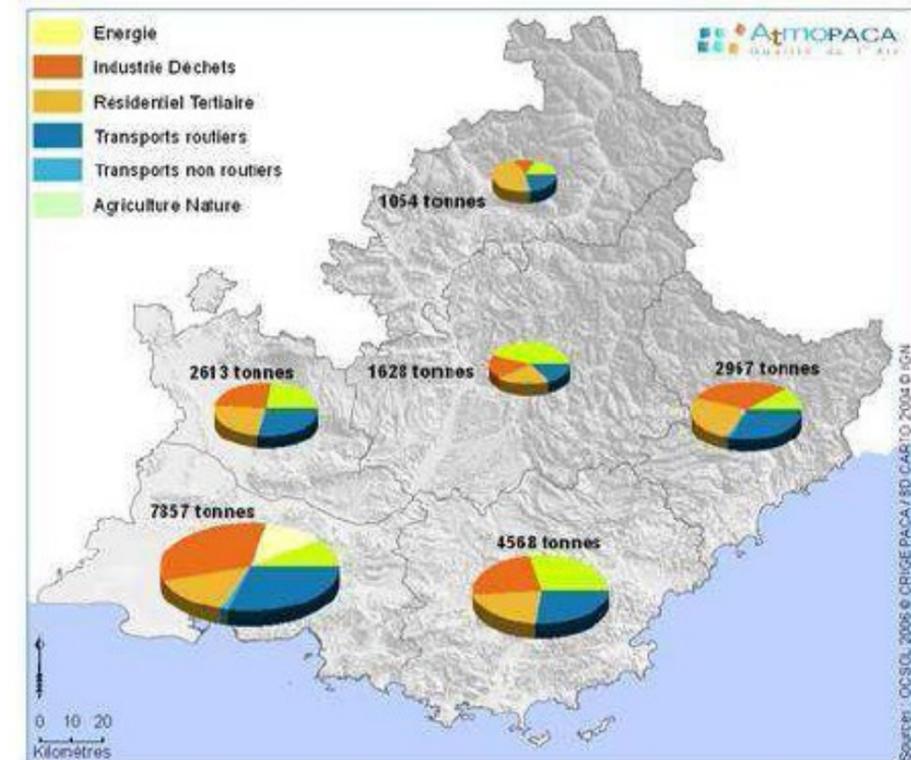
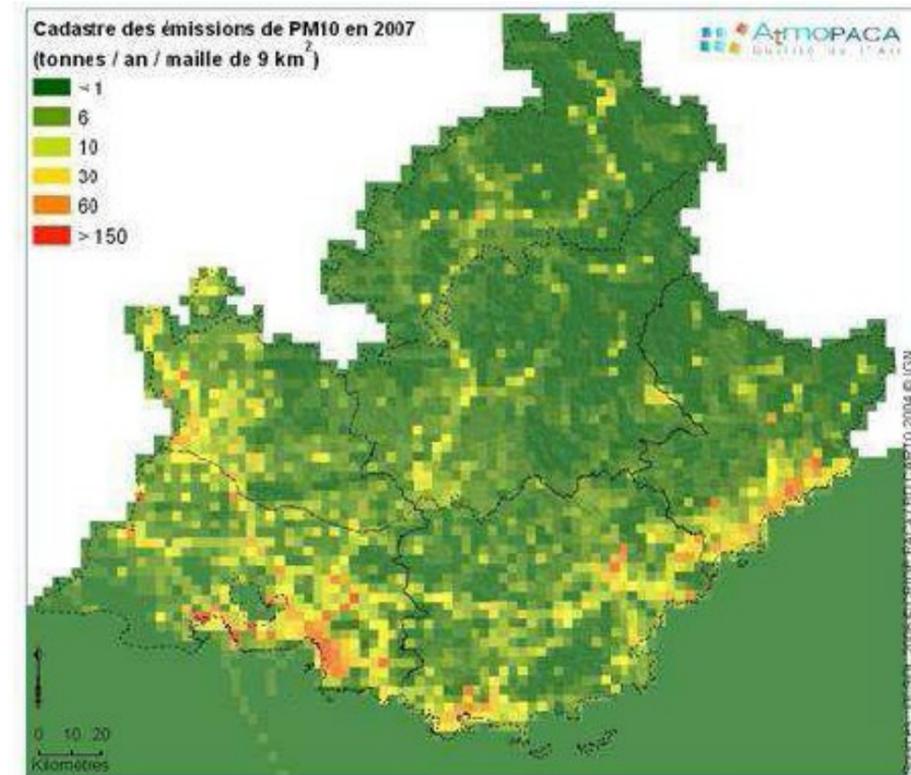


La contribution des transports dans la pollution particulaire s'alourdit si on prend compte les aérosols secondaires : ce type de particules est formé directement dans l'atmosphère par réactions chimiques entre les polluants. Or, les principaux précurseurs de ces réactions sont les oxydes d'azote, majoritairement émis par les transports.

Les cartes ci-contre montrent que les émissions de particules PM10 sont essentiellement concentrées dans les zones les plus peuplées.

A noter la contribution importante du secteur résidentiel dans les Hautes-Alpes, en raison de l'importance du chauffage au bois dans ce département.

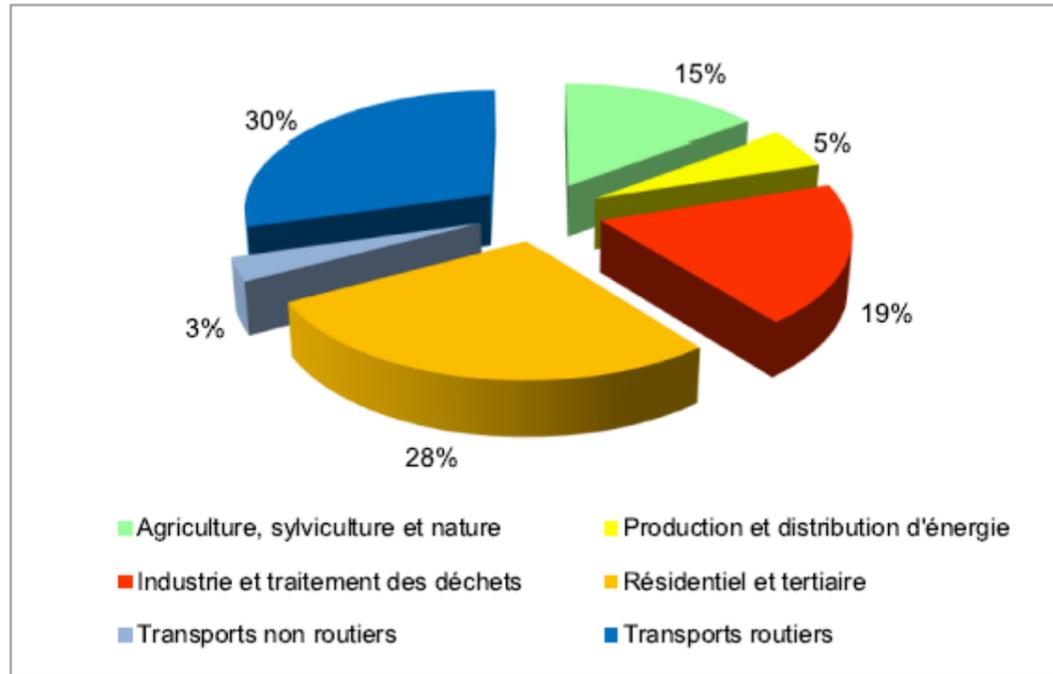
CARTES DES EMISSIONS DE PM10 EN REGION (SOURCE : AIR PACA)



❖ Particules fines (PM2.5)

Les émissions de PM2.5 sont de l'ordre de 21 kt par an. Les premiers secteurs émetteurs sont les transports routiers (30%) et le résidentiel-tertiaire (28%), suivis des activités agricoles (15%). Enfin, la production/distribution d'énergie et le transport non routier émettent respectivement 5% et 3% des émissions.

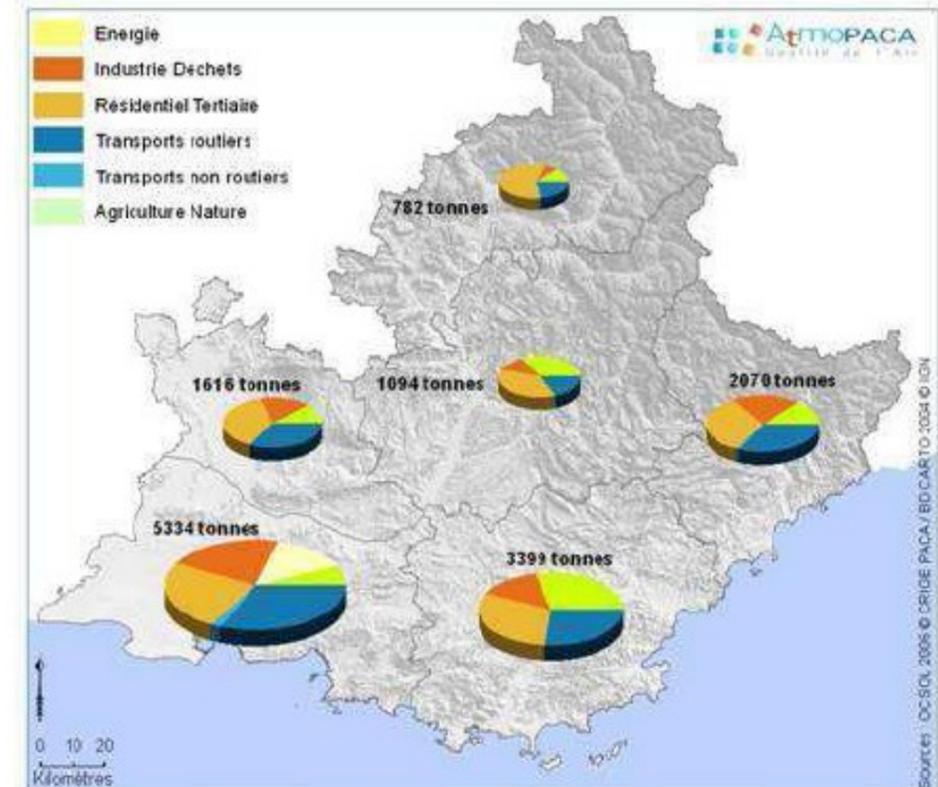
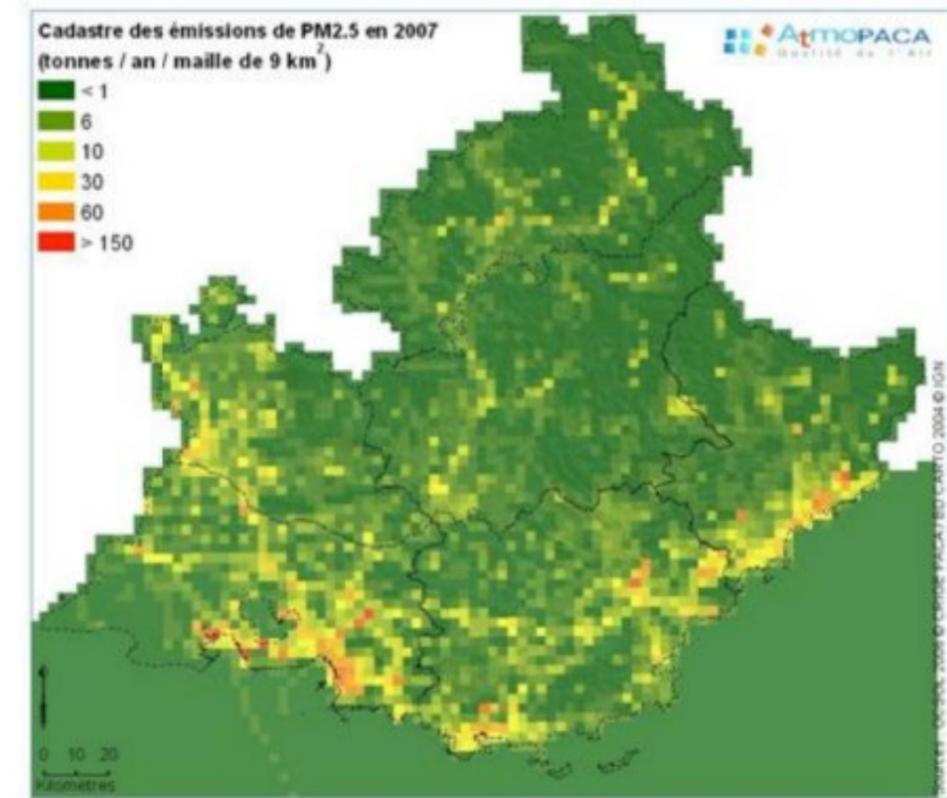
RÉPARTITION SECTORIELLE DES ÉMISSIONS DE PM2.5 EN 2007 (SOURCE : AIR PACA)



Les cartes ci-contre montrent que les émissions de particules PM2.5 sont essentiellement concentrées dans les zones les plus peuplées.

A noter la contribution importante du secteur résidentiel dans les Hautes-Alpes, en raison de l'importance du chauffage au bois dans ce département.

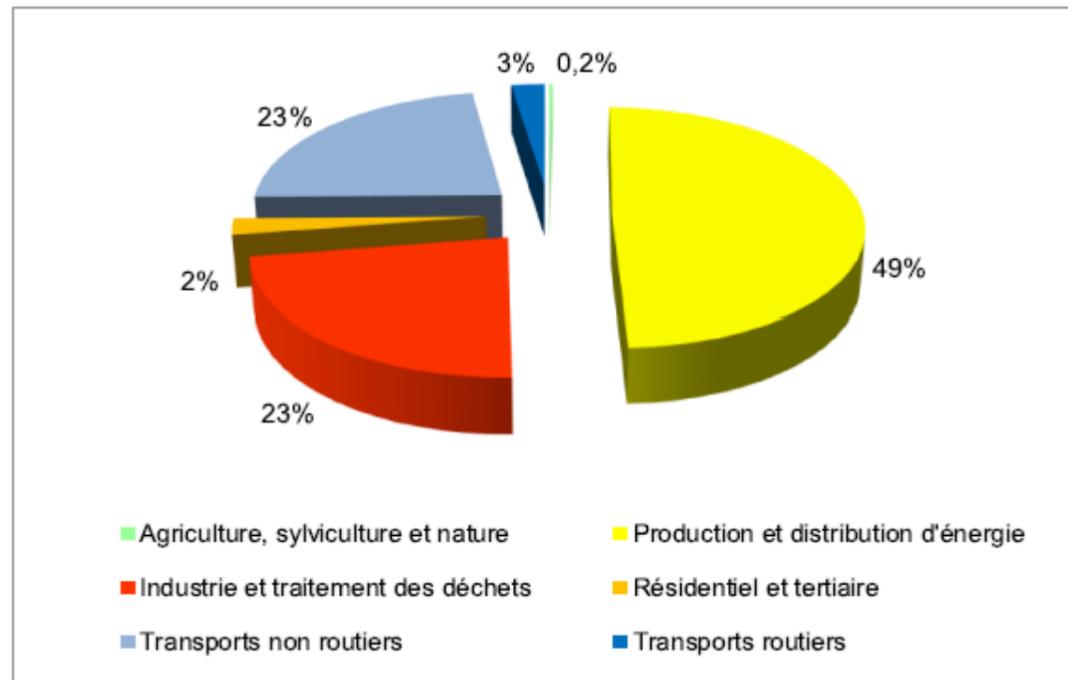
CARTES DES EMISSIONS DE PM2.5 EN REGION (SOURCE : AIR PACA)



❖ Dioxyde de soufre (SO₂)

La production d'énergie est le principal secteur émetteur de SO₂, en représentant près de 50% des émissions régionales. Les secteurs des industries et des transports non routiers contribuent chacun à 23% des émissions.

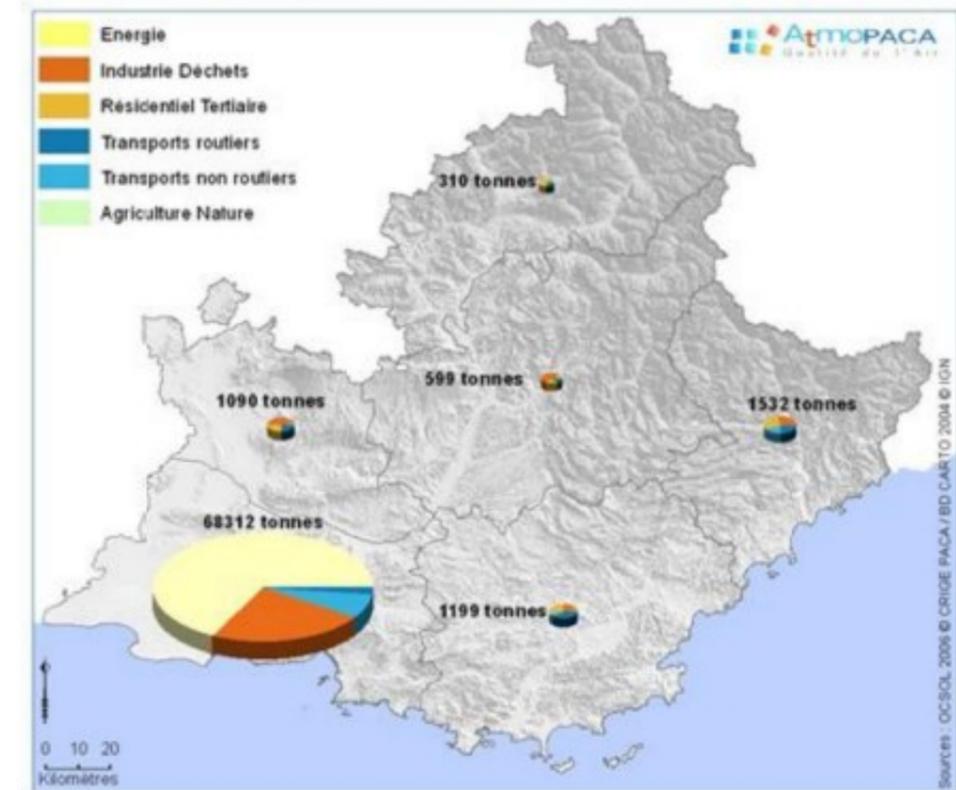
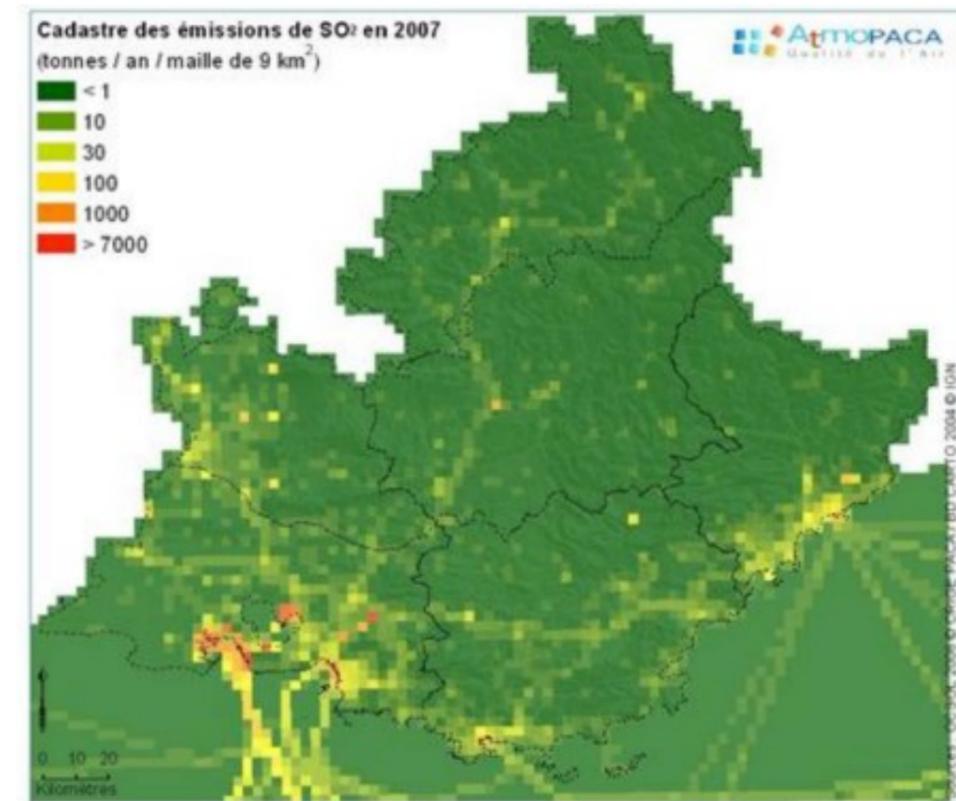
RÉPARTITION SECTORIELLE DES ÉMISSIONS DE SO₂ EN 2007 (SOURCE : AIR PACA)



Les cartes ci-contre montrent nettement que les émissions sont concentrées dans la zone de l'étang de Berre.

A lui seul, le département des Bouches-du-Rhône représente 77% des émissions de la région.

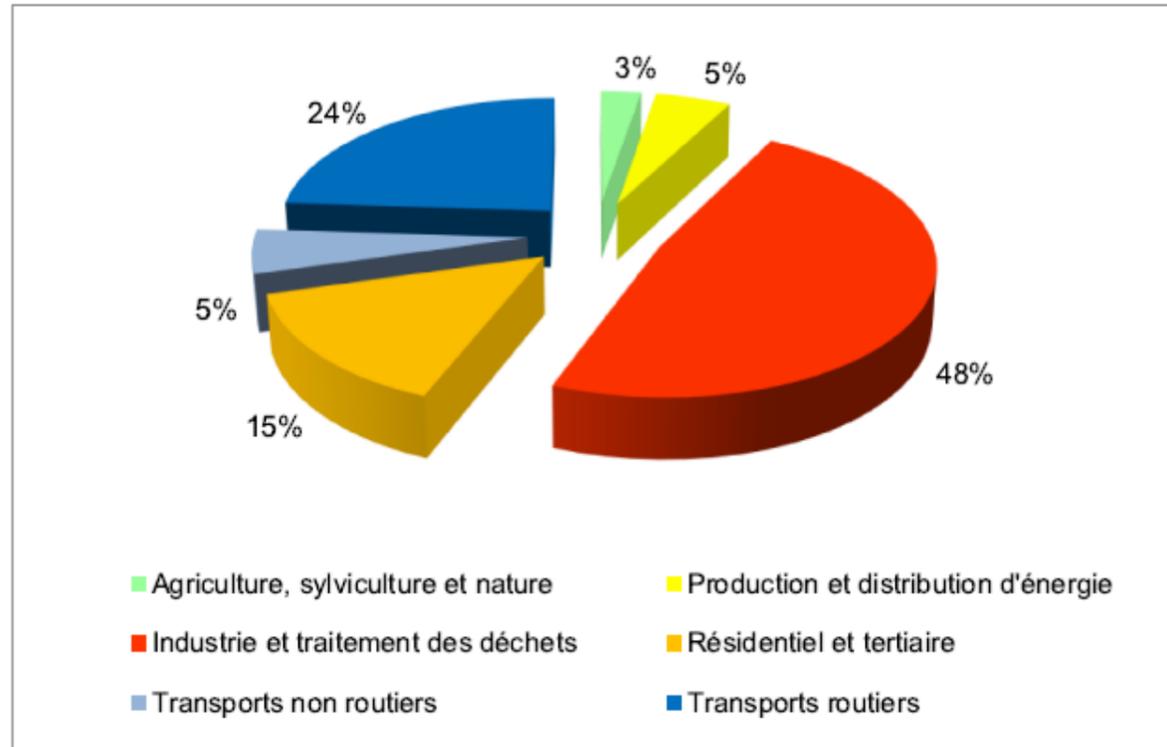
CARTES DES ÉMISSIONS DE SO₂ EN RÉGION (SOURCE : AIR PACA)



❖ Monoxyde de carbone (CO) :

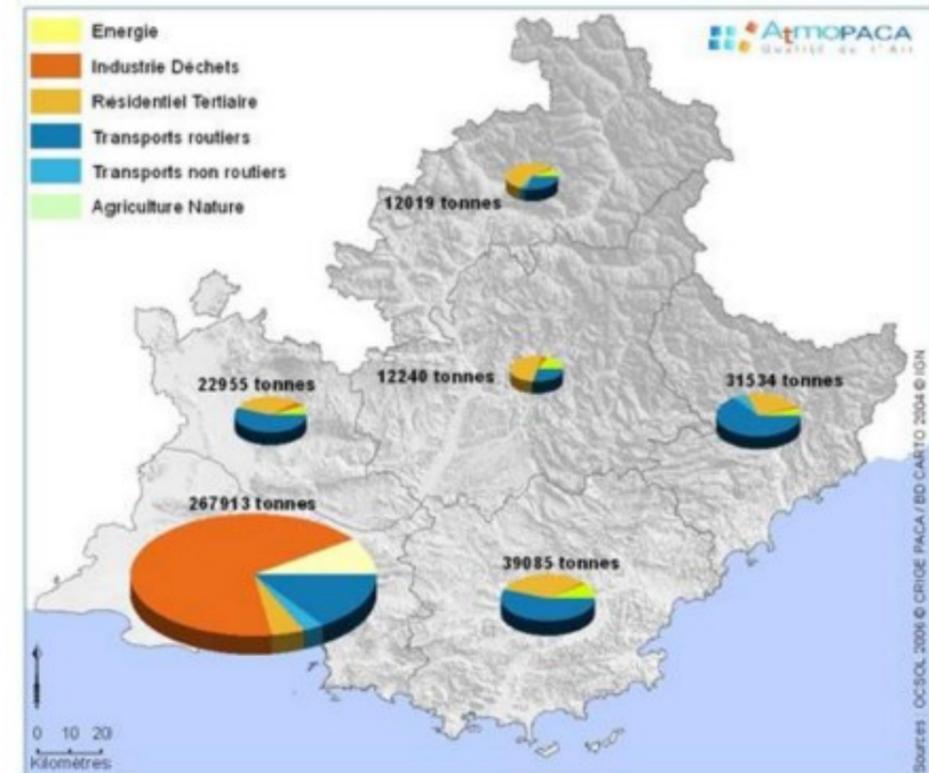
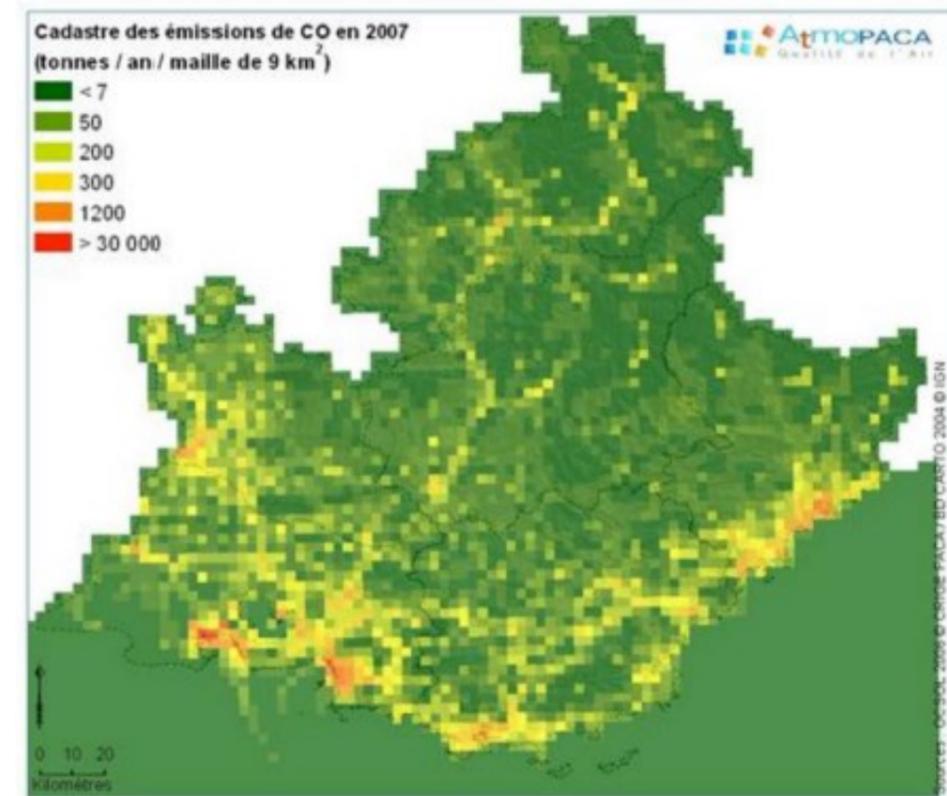
Le CO est principalement émis par l'industrie et le traitement des déchets (48%) ; les transports routiers (24%) et le résidentiel tertiaire (15%).

RÉPARTITION SECTORIELLE DES ÉMISSIONS DE CO EN 2007 (SOURCE : AIR PACA)



La répartition géographique des émissions est très hétérogène : les émissions des Bouches-du-Rhône, qui représentent 68% de la région, sont dominées par l'industrie malgré la présence de l'agglomération Marseillaise. Dans les Alpes Maritimes, le Var et le Vaucluse, qui comportent chacun une grande agglomération, les transports sont majoritaires. Dans les Alpes de Haute Provence et les Hautes Alpes, le résidentiel domine (chauffage bois).

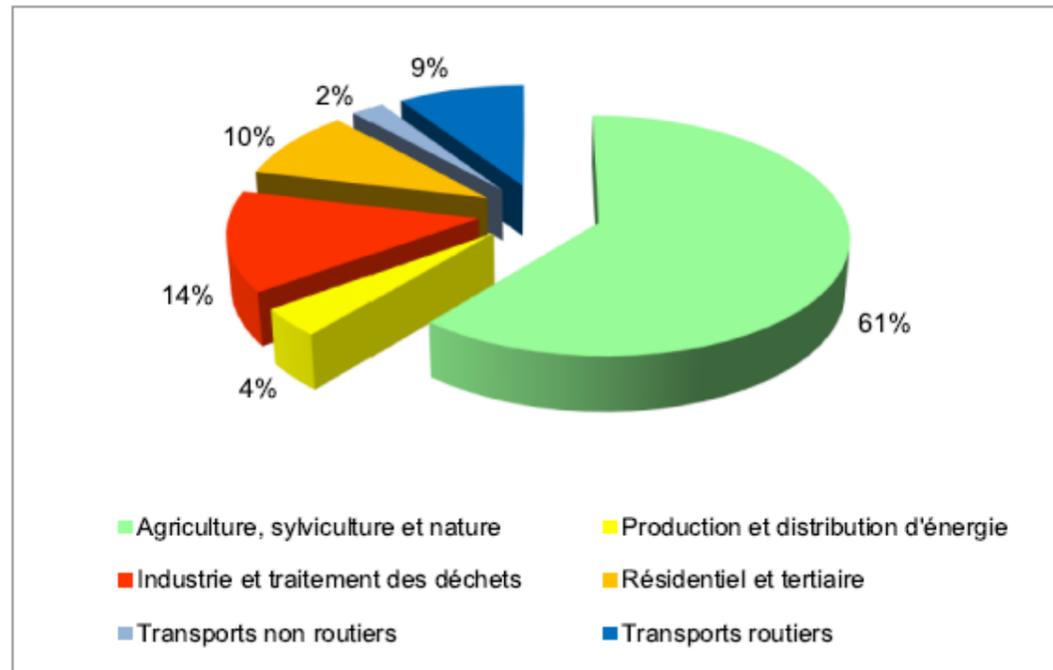
CARTES DES ÉMISSIONS DE CO EN RÉGION (SOURCE : AIR PACA)



❖ Composés Organique Volatils non méthaniques (COVNM)

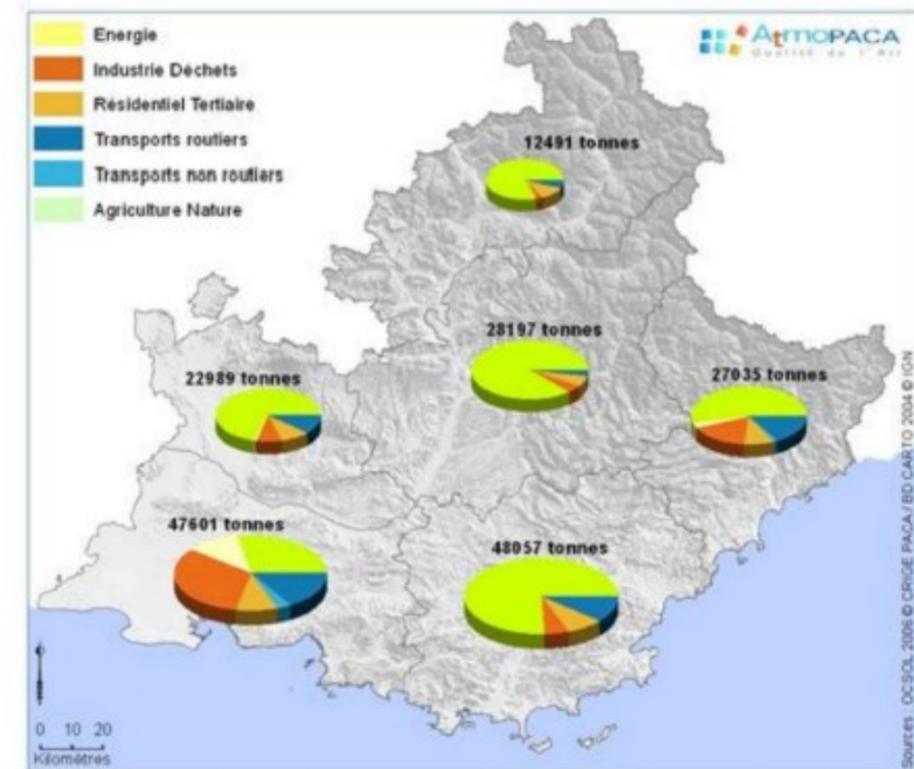
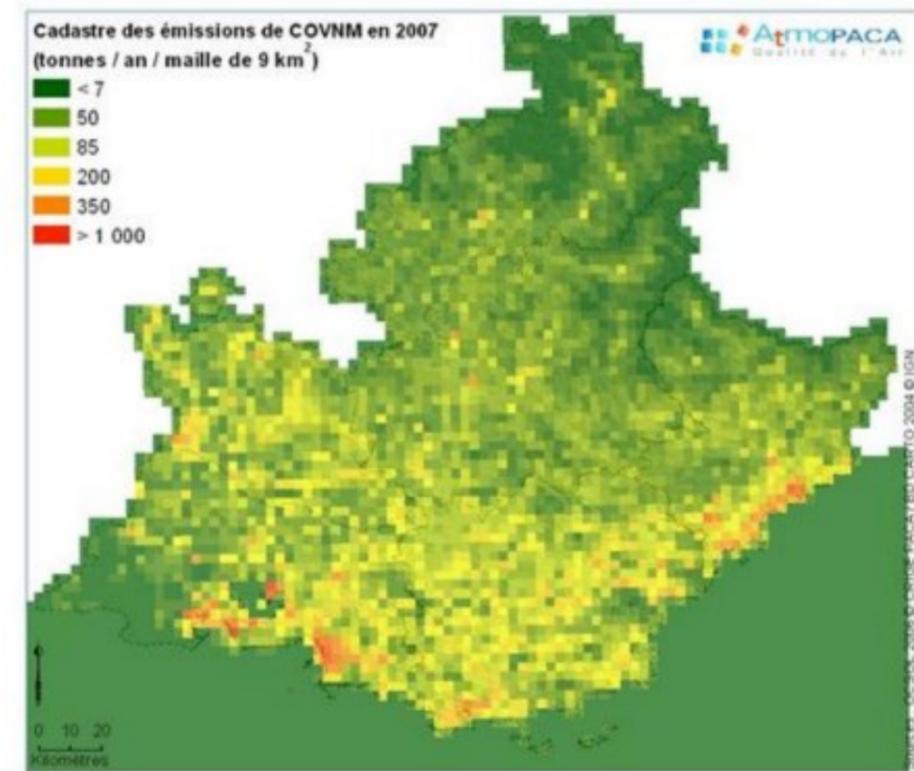
En masse, 61% des émissions de COVNM sont liées à l'agriculture et au milieu naturel. Il faut cependant distinguer la nature de ces composés organiques : ceux issus du cycle biologique des plantes ne sont en général pas toxiques, à l'inverse de certains émis par les activités humaines (benzène...). La prise en compte de l'ensemble des COV est cependant nécessaire, puisque les COV issus des plantes participent à la formation d'ozone.

RÉPARTITION SECTORIELLE DES ÉMISSIONS DE COVNM EN 2007 (SOURCE : AIR PACA)



La répartition géographique des émissions montre une répartition plus homogène des émissions sur le territoire. Le département des Bouches-du-Rhône se distingue avec une part importante des émissions liées à l'industrie et au traitement des déchets.

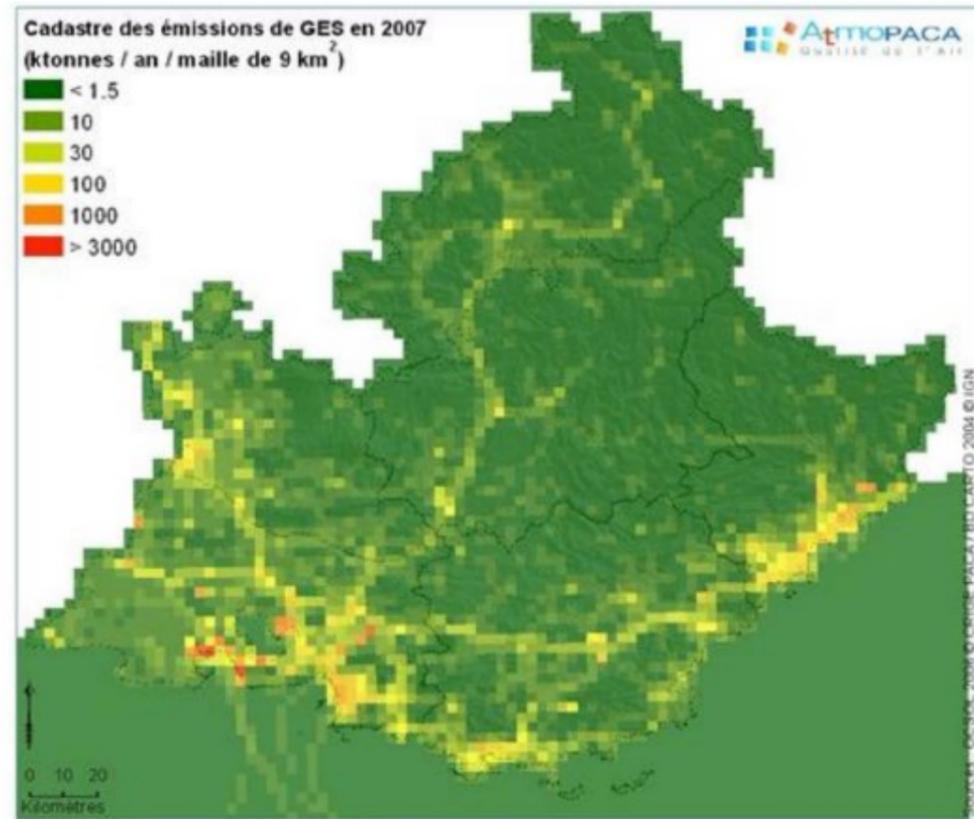
CARTES DES ÉMISSIONS DE COVNM EN RÉGION (SOURCE : AIR PACA)



III.5.3. Emissions totales des principaux GES

Le CO₂ est le gaz à effet de serre le plus largement émis en région PACA. Ainsi les cartes des émissions de CO₂ et celles des principaux GES (ci-dessous) présentent des ressemblances évidentes :

CARTE DES ÉMISSIONS TOTALES DES PRINCIPAUX GES, EN ÉQUIVALENT CO₂ EN RÉGION



Les émissions de gaz à effet de serre sont, comme pour les consommations énergétiques, issues des communes où se concentrent les activités anthropiques : grandes agglomérations, présence de sites industriels, présence d'axes routiers fortement fréquentés.

A titre d'illustration, le tableau ci-contre présente les pourcentages de répartition des émissions par département pour les GES d'origine énergétique. On constate que les Bouches-du-Rhône sont, de loin, le département concentrant la majorité des sources de HGES énergétiques, avec une contribution de 68% au pouvoir de réchauffement global de la région.

ÉMISSIONS DÉPARTEMENTALES DES POLLUANTS (SOURCE : ENERGAIR 2007)

Département	% CO ₂	% CH ₄	% N ₂ O	% PRG
Alpes de Haute-Provence	2%	6%	3%	2%
Alpes Maritimes	12%	13%	13%	12%
Bouches du Rhône	68%	49%	62%	68%
Hautes-Alpes	2%	7%	3%	2%
Var	10%	16%	11%	10%
Vaucluse	6%	10%	8%	6%
Total	100%	100%	100%	100%

Il faut noter également que l'ozone (O₃) est un gaz à effet de serre qui ne rentre pas dans ce bilan, dans la mesure où ce polluant n'est pas émis directement par les sources (il est formé par réaction chimique à partir d'autres polluants, NO_x et COVNM) et a une durée de vie limitée dans l'atmosphère. Or, la région est particulièrement touchée par la pollution à l'ozone.

III.5.4. Le réseau de surveillance de la qualité de l'air Air PACA

Air PACA est une association agréée par le Ministère chargé de l'Environnement pour la mise en œuvre de la surveillance de la qualité de l'air et la diffusion de l'information sur les six départements de la région PACA. Les missions d'Air PACA sont de surveiller et de prévoir la qualité de l'air sur la région, ainsi que de diffuser ces informations.

Air PACA a mis en place un réseau de surveillance de la qualité de l'air en continu. Chaque station mesure heure par heure la concentration d'un certain nombre de polluants. On distingue différentes typologies de stations qui caractérisent l'environnement dans lequel elles sont implantées :

- **les stations de fond** : elles mesurent la qualité de l'air ambiant, loin de toute source de pollution. Elles sont éloignées du trafic routier et des sources ponctuelles, et sont ainsi représentatives d'un large secteur géographique autour d'elles. Elles permettent ainsi de connaître les taux d'exposition chronique auxquels est soumise la population. Ces stations sont sous-divisées en :
 - stations urbaines, représentatives du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « fond » dans les centres urbains ;
 - stations périurbaines ou suburbaines, représentatives du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « fond » à la périphérie du centre urbain, permettant également le suivi de la pollution photochimique ;
 - stations rurales, représentatives du niveau d'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de « fond », notamment photochimique, dans les secteurs à faible densité de population.
- **les stations trafic** : elles sont situées au plus près des voies de circulation, sur le trottoir, à deux ou trois mètres des pots d'échappement. Elles permettent d'évaluer le niveau maximal d'exposition du public à proximité d'une infrastructure routière. Les polluants surveillés sont ceux d'origine automobile (oxydes d'azote, monoxyde de carbone, poussières en suspension, hydrocarbures...).
- **les stations industrielles** : elles sont représentatives du niveau d'exposition maximum de pollution induit par des phénomènes de panache ou d'accumulation à proximité d'une source industrielle.

III.5.4.1. L'indice ATMO à Marseille

L'indice ATMO, quotidiennement diffusé au grand public, est un indicateur qui permet de caractériser chaque jour la qualité de l'air de par un chiffre compris entre 1 (très bonne) et 10 (très mauvaise).



En 2013, à Marseille, la qualité de l'air a été moyenne à médiocre la moitié de l'année (52 % du temps). Elle a été bonne sur 42% du temps, soit 5 mois sur Marseille. 24 journées ont été qualifiées de « mauvaises à médiocres ». Ces journées correspondent à des situations de pollution hivernale par les particules ou de pollution estivale par l'ozone.

A Marseille, ville très urbanisée, les particules en suspension (PM 10) sont les principales responsables de la dégradation de l'indice ATMO, suivies par le dioxyde d'azote.

Ces deux polluants sont des marqueurs de la pollution d'origine routière.

III.5.4.2. Stations de mesure

Choisir un site de mesure de la qualité de l'air, ça ne doit rien au hasard. Le choix de la localisation du site et des polluants mesurés doit répondre à une problématique spécifique : stations urbaines, périurbaines, trafic... Ces critères sont définis par un guide national. Le choix de localiser les mesures dépend des caractéristiques de la zone à étudier : il faut respecter une densité de population, un point de mesure doit être installé à moins de 5 mètres de la circulation pour un site de trafic, mais bien plus loin, hors de l'influence directe des sources de pollution, pour un site de fond,...

- ❖ Site de trafic : représentatif du niveau d'exposition maximum auquel la population située en proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être soumise.
- ❖ Site Industriel : représentatif du niveau d'exposition maximum de pollution induit par des phénomènes de panache ou d'accumulation en proximité d'une source industrielle.
- ❖ Site Urbain : représentatif du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « fond » dans les centres urbains.
- ❖ Site Périurbain : représentatif du niveau d'exposition moyen de la population à des maxima de pollution photochimique, pollution de « fond » à la périphérie du centre urbain.
- ❖ Site Rural Régional : représentatif du niveau d'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de « fond » (celle que l'on trouve sur le territoire,

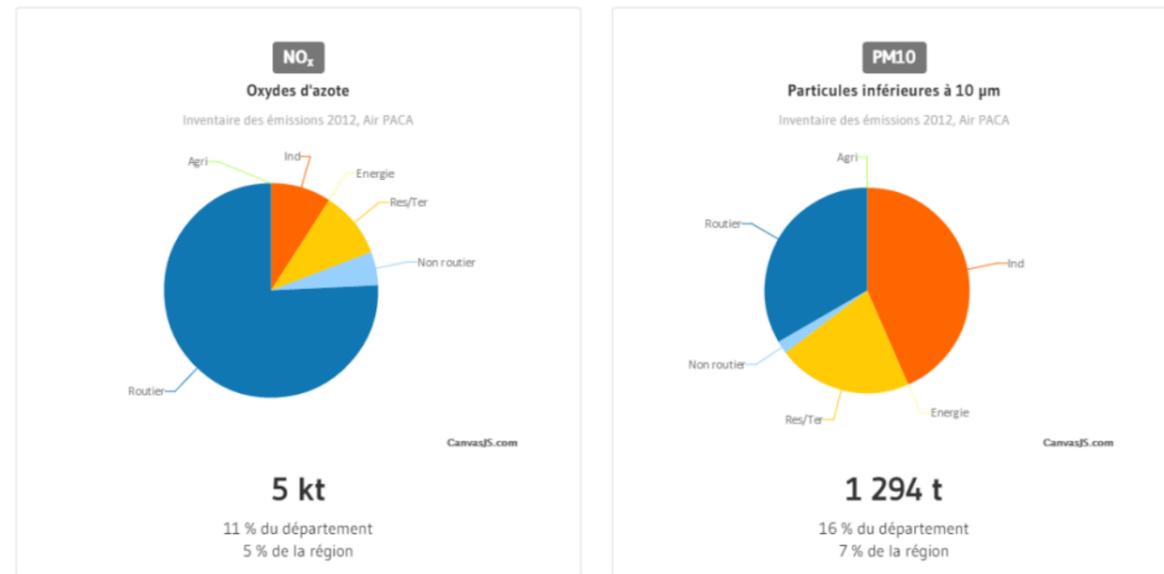
même là où n'existent pas de sources d'émissions) notamment photochimique dans les zones rurales.

Stations d'observation : maintenues pour des raisons historiques, de recherche, de connaissance de l'exposition de la population dans des situations spécifiques.

Air PACA dispose de 80 sites répartis sur les 6 départements de la Région PACA, tant dans les grandes agglomérations qu'en zone plus rurale.

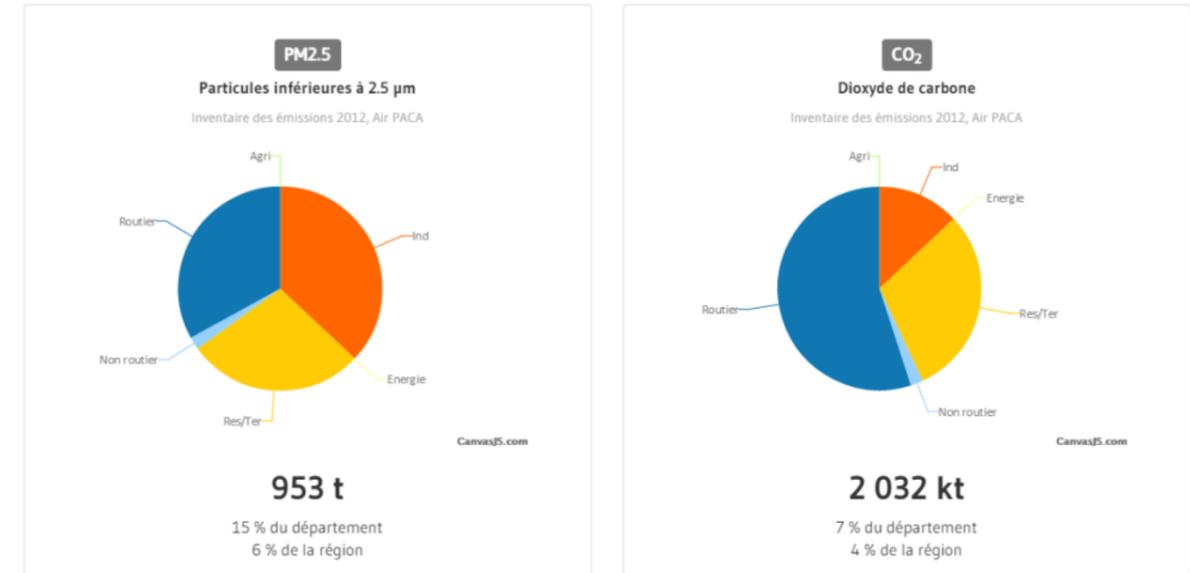
III.5.4.3. Inventaires des émissions à Marseille

Les résultats ci-après proviennent du nouvel inventaire des émissions polluantes sur la région PACA, en 2012. Il s'agit ici des émissions sur la commune de Marseille.



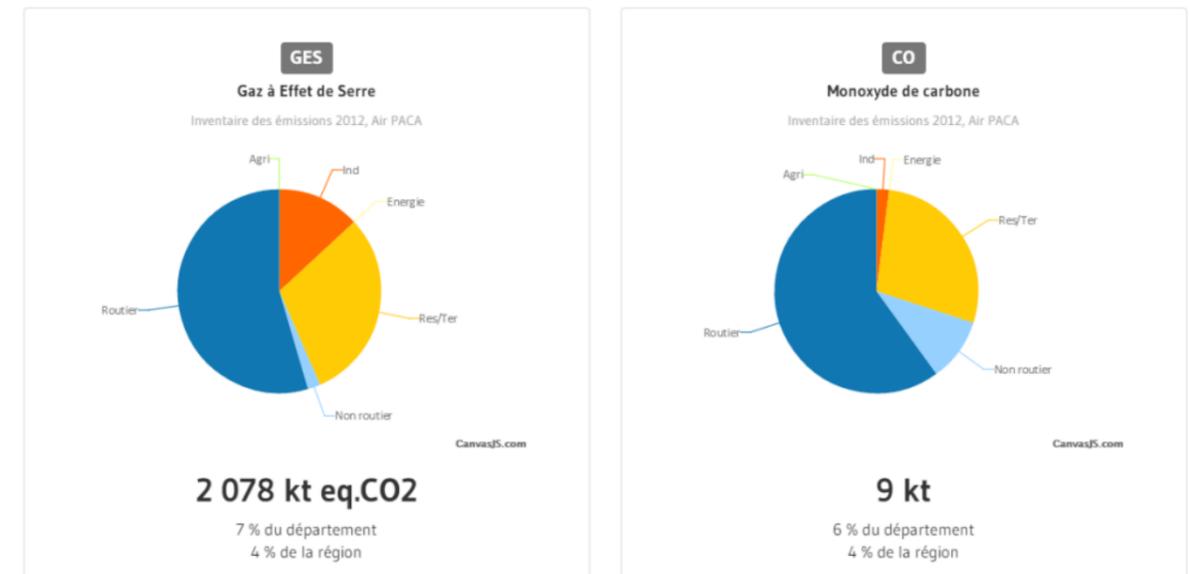
La part des transports routiers représente les 3/4 des émissions de NOx. L'ensemble des émissions de NOx émis par la commune de Marseille représentent 11% des émissions du département.

Les émissions des PM10 sont en majorité issues de l'industrie et des transports routiers. Les émissions de PM10 de Marseille représentent 16% des émissions du département.

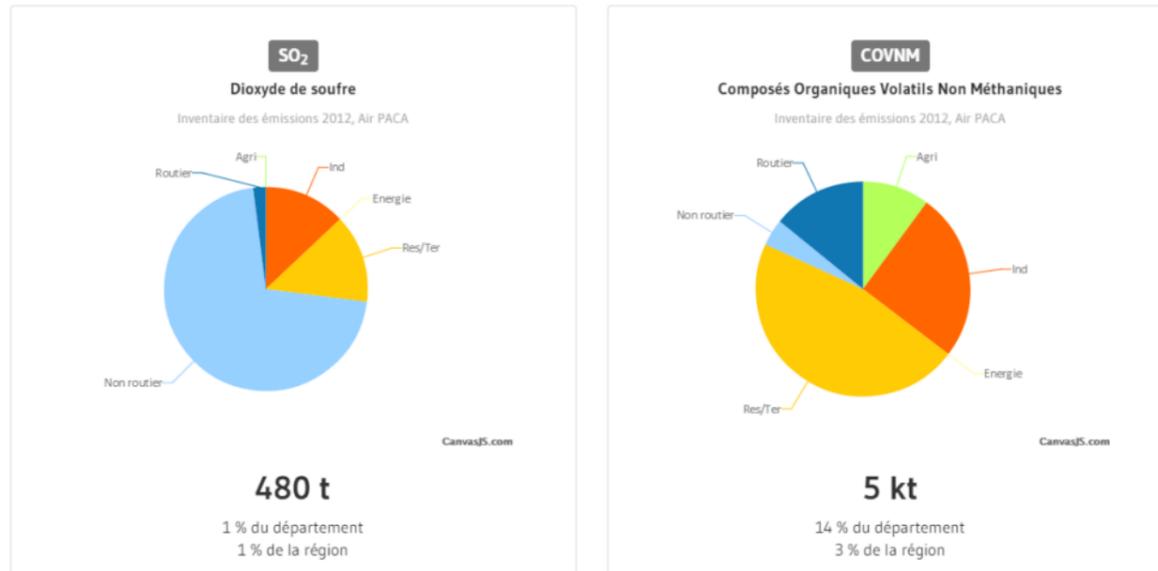


Les émissions de particules fines PM2.5 sont équitablement réparties entre les transports routiers, l'industrie et le secteur tertiaire.

Les émissions de CO2 sont majoritairement émises par les transports routiers puis par le secteur résidentiel/tertiaire.



Les Gaz à Effet de Serre et le Monoxyde de Carbone sont majoritairement issus des transports routiers.



Les émissions de SO₂ proviennent pour les $\frac{3}{4}$, des transports non routiers.

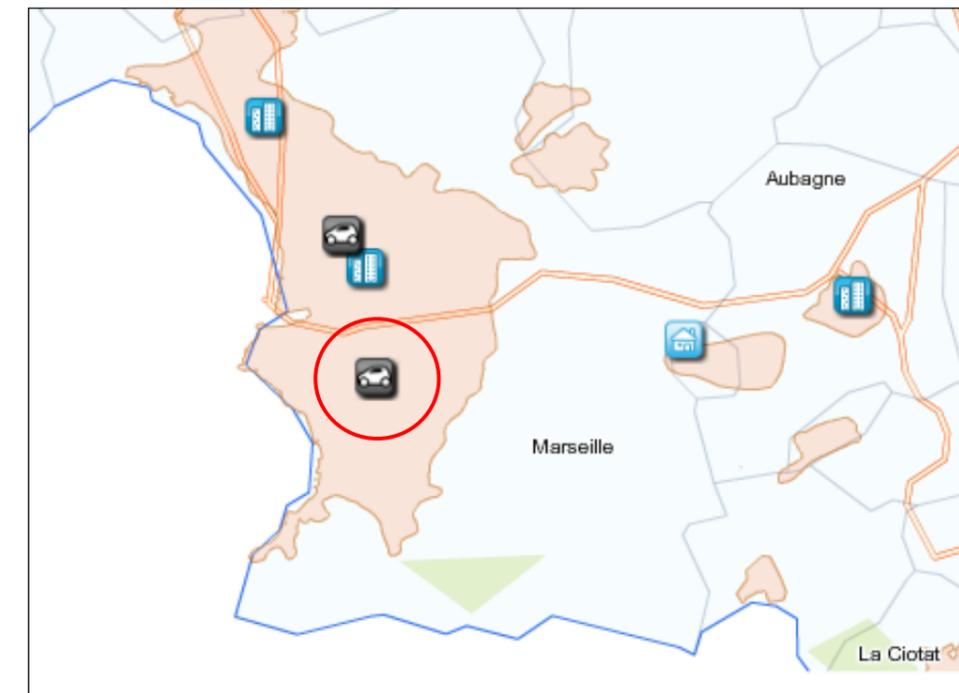
Les émissions de COVnM sont issues en majorité du secteur résidentiel et tertiaire.

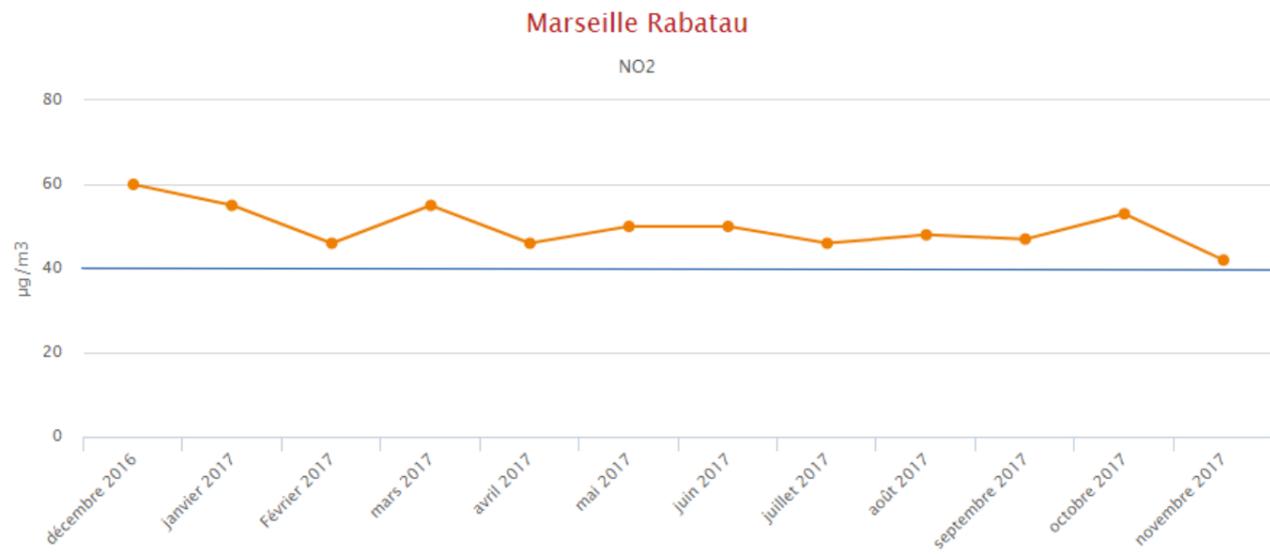
On remarque donc que la plupart des émissions de polluants proviennent des transports routiers.



III.5.4.4. Stations de MARSEILLE Rabatau (source Air PACA)

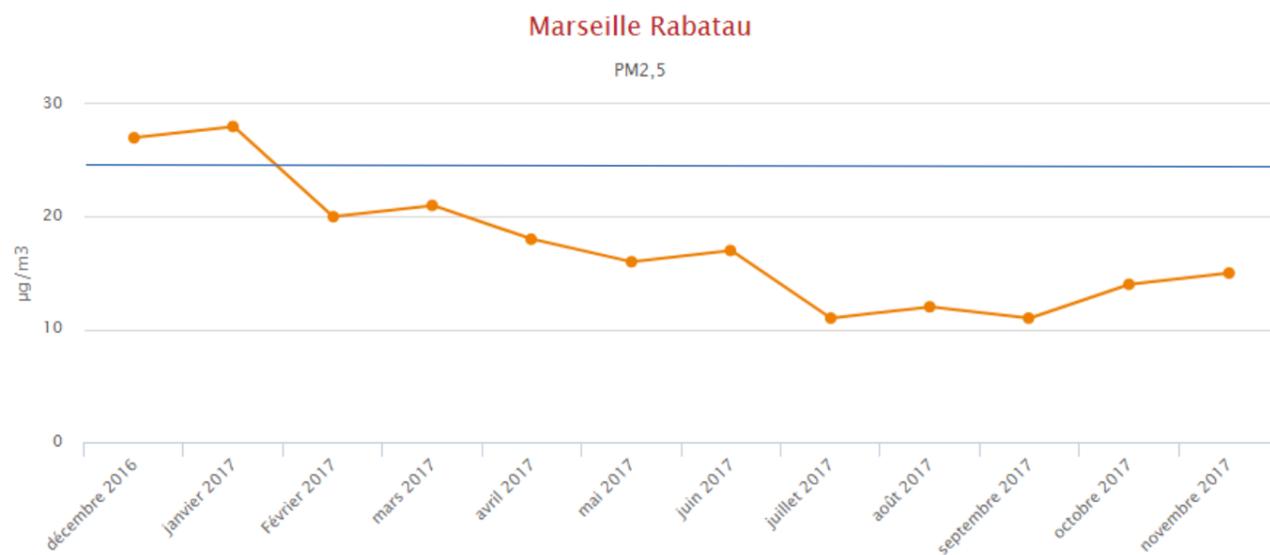
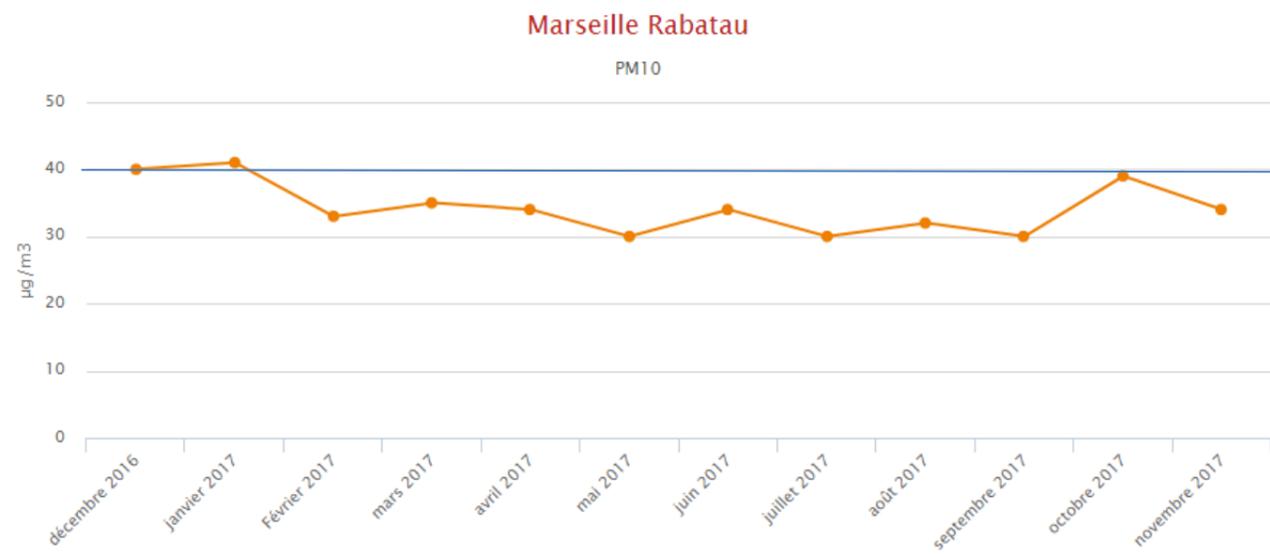
Trois polluants mesurés par la station "Trafic" de Rabatau sur une année (2017) sont présentés ci-après.





On constate que les valeurs limites, c'est-à-dire le « niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble », sont largement dépassées pour le dioxyde d'azote. Pour les particules, on s'aperçoit que les seuils réglementaires sont dépassés durant les mois d'hiver (décembre et janvier) et sont respectés pour le reste de l'année 2017.

La station Rabatau est située en bordure du boulevard, en sortie de la passerelle, dans une section du boulevard encadrée de murs, où la dispersion des polluants est limitée. Il en résulte un niveau de pollution important en bordure de voirie routière.



III.6. Mesures réalisées *in situ*

Conformément à la réglementation, deux campagnes de mesures de la qualité de l'air au droit de la zone de projet ont été réalisées (hivernale et estivale). Les campagnes de mesures se sont déroulées du 10/02/2015 au 24/02/2015 pour la période hivernale et du 09/04/2015 au 23/04/2015 pour la période estivale.

Une troisième campagne de mesure a été réalisée du 7 au 22 novembre 2017 (période automnale) afin de mettre à jour les données récoltées en 2015 lors des premières campagnes de mesures.

Les NO₂ et BTEX ont été mesurés à l'aide d'échantillonneurs passifs (Passam Ag) :

- 12 tubes de NO₂ ont été positionnés aux abords du projet ;
- 6 tubes de BTEX ont été positionnés sur les mêmes emplacements que 6 tubes de NO₂.

III.6.1. Méthodologie d'étude

Ces campagnes de mesures se sont intéressées aux principaux polluants d'origine automobile que sont le dioxyde d'azote (NO₂) et les BTEX. Ces polluants ont été mesurés sur une durée de 15 jours à l'aide d'échantillonneurs passifs. Cette technique de mesure permet d'obtenir une évaluation de la concentration atmosphérique moyenne en polluant sur cette durée.

La méthodologie d'échantillonnage consiste en la suspension des échantillonneurs passifs dans une boîte qui les protège des intempéries. Ces boîtes sont placées à une hauteur de 2 à 2,5 mètres, en suspension libre, aux endroits de mesures choisis.

Au total, 12 points de mesures ont été réalisés. Les points ont été répartis sur l'ensemble de la zone d'étude afin de caractériser au mieux la qualité de l'air dans ce secteur.

Les points de mesures sont caractéristiques d'un type de pollution selon leur emplacement. Ainsi, on distingue :

- ❖ les points de proximité trafic (T), situés à proximité d'un axe de circulation important (points 1, 3, 7, 8, 9 & 10) ;
- ❖ les points de fond urbain (U), situés à proximité d'habitations et de la zone du projet (points 2, 4, 5, 6, 11 & 12).

III.6.2. Conditions météorologiques

Les données météorologiques (visible en annexe) trihoraires mesurées en continu à la station Météo France de Marseille, ont été analysées sur la période du 10 février 2015 au 24 février 2015 et du 09 au 23 avril 2015, pour les paramètres suivants :

- Les températures,
- La direction du vent,

- La force du vent.

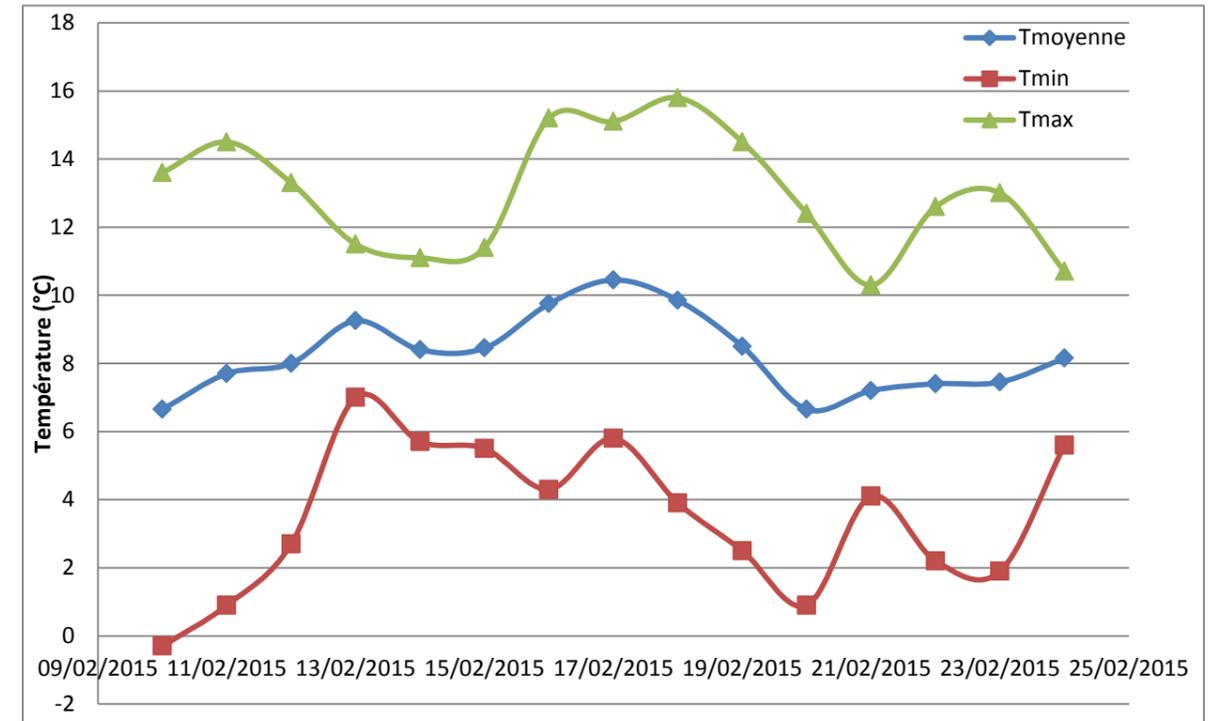


FIGURE 7.1 : VARIATIONS DE TEMPÉRATURES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE HIVERNALE

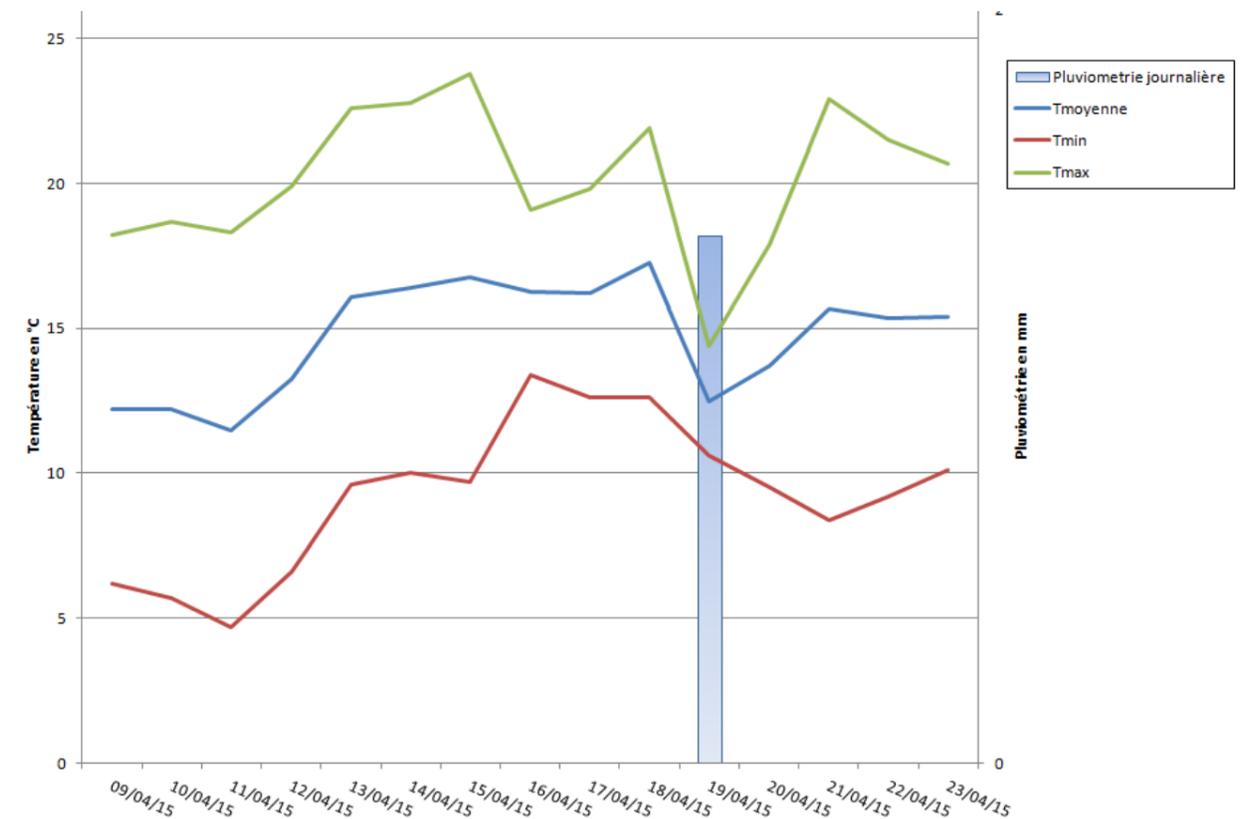


FIGURE 8.2 : VARIATIONS DE TEMPÉRATURES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE ESTIVALE

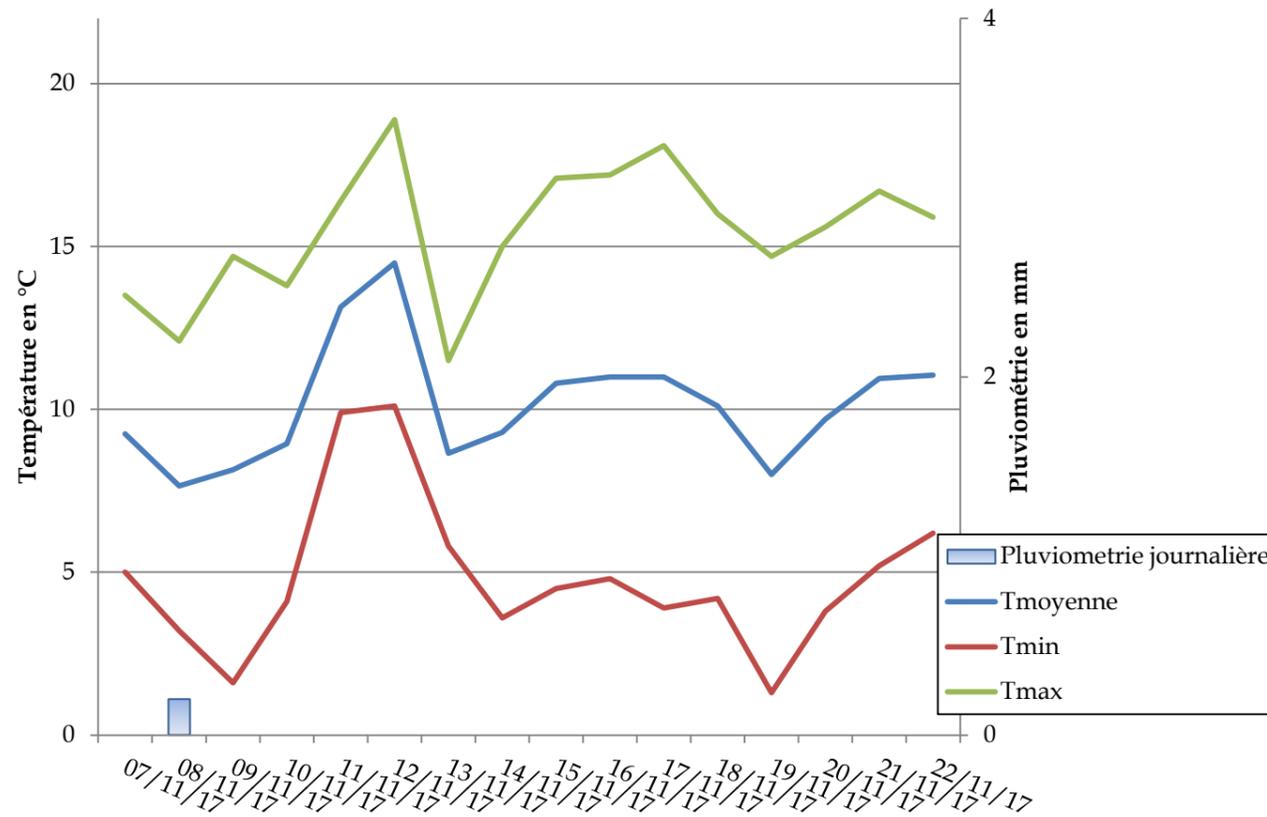


FIGURE 9 : VARIATIONS DE TEMPÉRATURES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE AUTOMNALE

Source : Météo France – Station de Marseille

❖ Période hivernale :

Les moyennes journalières des températures s'échelonnent entre 6,5°C et 10,5°C. L'amplitude thermique durant la campagne est d'environ 10°C sur une journée. La température moyenne pour toute la période de mesure s'établit à 8,3 °C.

Ces températures sont conformes aux normales saisonnières du mois de février qui sont été évaluées, sur 30 ans, à 8,1°C.

	Campagne	Normales Saisonnières
Température moyenne (°C)	8,3	8,1
Moyenne des températures maximales (°C)	13,0	12,5
Moyenne des températures minimale (°C)	3,5	3,6
Température quotidienne la plus élevée (°C)	15,8	22,1
Température quotidienne la plus basse (°C)	-0,3	-16,8

❖ Période estivale :

Les moyennes journalières des températures s'échelonnent entre 11,5°C et 17,5°C. L'amplitude thermique durant la campagne est d'environ 10°C sur une journée. La température moyenne pour toute la période de mesure s'établit à 14,7 °C.

Ces températures sont conformes aux normales saisonnières du mois de février qui sont été évaluées, sur 30 ans, à 13,8°C.

	Campagne	Normales Saisonnières
Température moyenne (°C)	14.7	13.8
Moyenne des températures maximales (°C)	20.2	18.6
Moyenne des températures minimale (°C)	9.3	9.1
Température quotidienne la plus élevée (°C)	23.8	29.6
Température quotidienne la plus basse (°C)	4.7	-2.4
Hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm)	1.4	65.7
Hauteur totale des précipitations (mm)	1.4	54
Nombre de jours de pluie	1.0	10

❖ Période automnale :

	Campagne	Normales Saisonnières
Température moyenne (°C)	10,1	11,1
Moyenne des températures maximales (°C)	15,5	15,1
Moyenne des températures minimale (°C)	4,8	7,2
Température quotidienne la plus élevée (°C)	18,9	25,2
Température quotidienne la plus basse (°C)	1,3	-5,8
Hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm)	0,2	95,1
Hauteur totale des précipitations (mm)	0,2	55,7
Nombre de jours de pluie	1,0	5,9

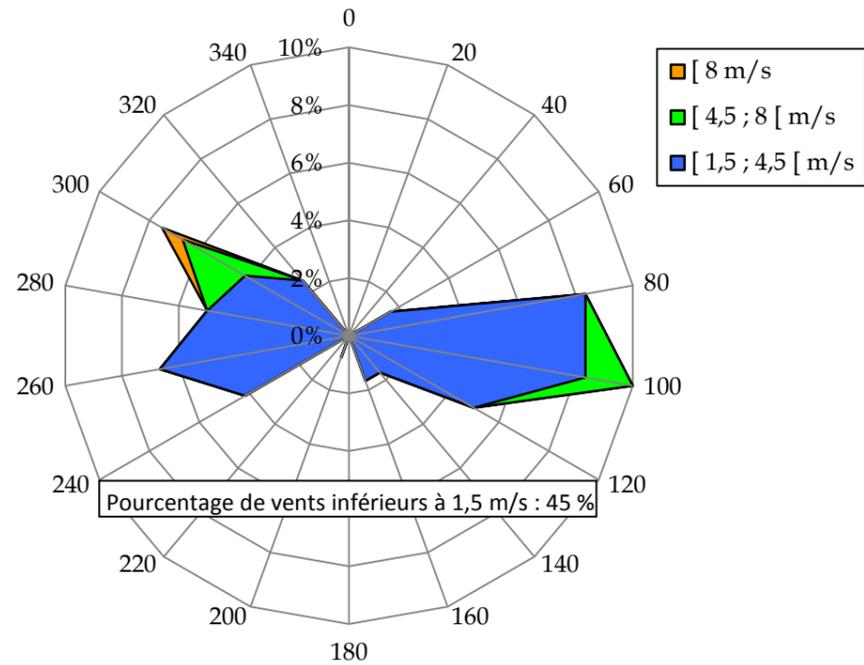


FIGURE 10 : ROSE DES VENTS ÉTABLIE PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE HIVERNALE

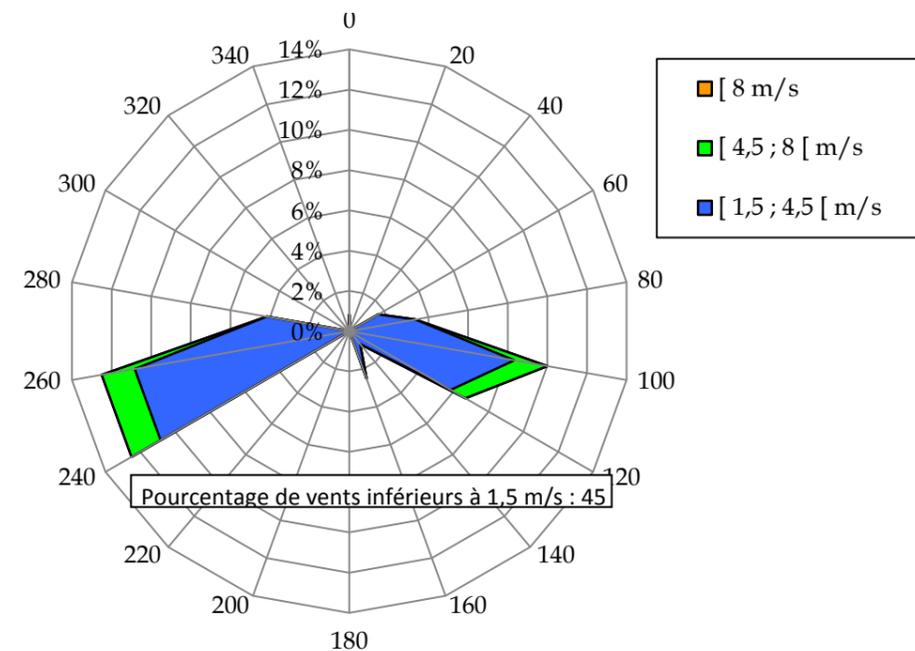


FIGURE 11 : ROSE DES VENTS ÉTABLIE PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE ESTIVALE

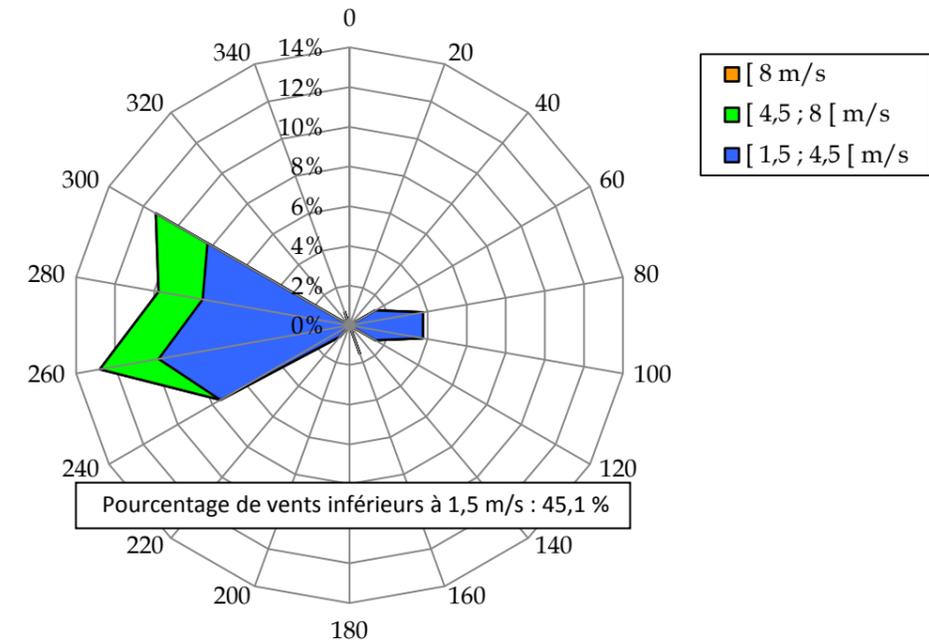


FIGURE 12 : ROSE DES VENTS ÉTABLIE DURANT LA CAMPAGNE DE MESURE AUTOMNALE

Source : Météo France – Station de Marseille

Deux types de vents ont soufflé sur le secteur durant les campagnes de mesures, des vents provenant de l'Est et d'autres de l'Ouest. Les vents d'Ouest ont majoritairement soufflés durant la période de mesures. Les vents d'Est ont été légèrement plus forts que les vents d'Ouest atteignant plus de 8 m/s. On remarque également que la ventilation n'a pas été régulière tous les jours.

Si l'on observe la rose vents moyennés sur 30 ans au niveau de la station de Marignane, on remarque que les vents qui soufflent habituellement sont des vents de secteurs Nord-Ouest et Sud-Est. Les vents qui ont donc soufflés durant la campagne de mesure ne sont pas représentatifs des vents habituels.

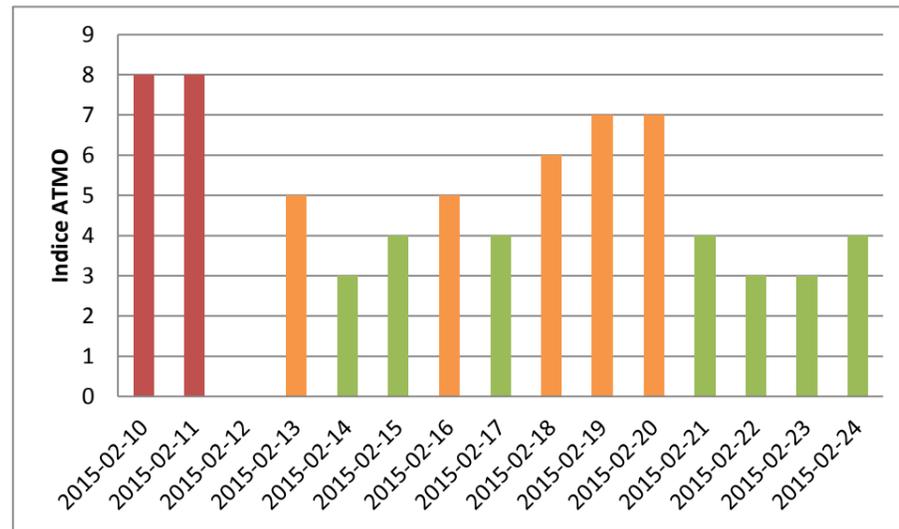
Ainsi, la zone d'étude a été exposée à un régime peu favorable à la dispersion des polluants à cause d'une ventilation peu régulière. Les conditions météorologiques (températures) ont été représentatives des conditions moyennes d'expositions de la zone d'étude pour la période de mesure.

III.6.3. Indice ATMO durant les campagnes

On retrouve l'influence de la météorologie sur la qualité de l'air dans l'indice ATMO journalier observé à Marseille. Cet indice donne une idée globale du niveau de qualité de l'air pendant la période d'analyse sur le site d'étude.

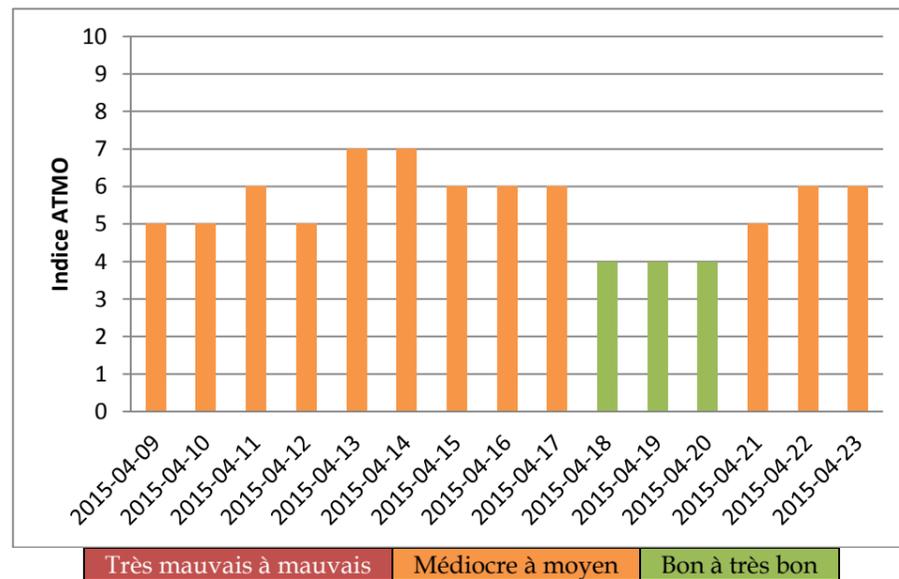
- ❖ Période hivernale : Les indices ATMO sont bons 7 jours sur 15, médiocre, 5 jours sur 15 et mauvais 2 jours sur 15. Les 2 jours correspondant à un indice ATMO mauvais sont dus à un excès de PM10. Les jours d'indices médiocre sont dus aux PM10 également et au cumul du NO2 et PM10 la journée du 16 février.

- ❖ Période estivale : Les indices ATMO sont bons 3 jours sur 15 et médiocre, 12 jours sur 15. On ne note pas de jours correspondant à un indice mauvais durant cette période de mesure.
- ❖ Période automnale : Les indices ATMO sont bons au début de la campagne de mesure durant 7 jours, puis moyen durant 7 jours et médiocre une journée.



Très mauvais à mauvais Médiocre à moyen Bon à très bon

FIGURE 13 : INDICE ATMO JOURNALIER À MARSEILLE DU 10 AU 24 FÉVRIER



Très mauvais à mauvais Médiocre à moyen Bon à très bon

FIGURE 14 : INDICE ATMO JOURNALIER À MARSEILLE DU 09 AU 23 AVRIL 2015

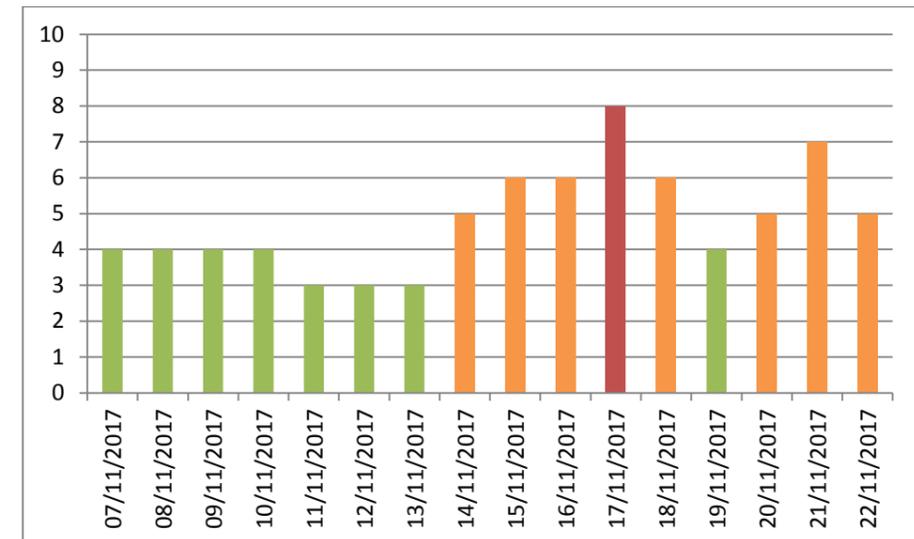


FIGURE 15 : INDICE ATMO JOURNALIER À MARSEILLE DU 07 AU 22 NOVEMBRE 2017

III.6.4. Localisation des points de mesures

Les planches ci-après présentent la localisation des points de mesures, ainsi que le détail par point.

En agglomération, les tubes ont été accrochés aux éléments de signalisation urbaine (poteau, luminaire, arbres...)

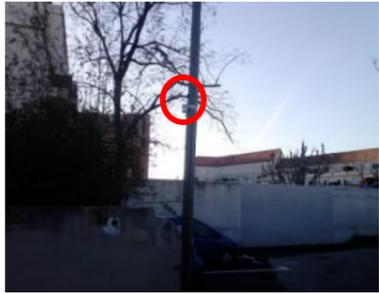
LOCALISATION DES POINTS DE MESURE PAR TUBE PASSIF



DÉTAILS DE CHAQUE POINT DE MESURE PAR TUBE PASSIF

Point de mesure	Localisation	Commune	Type	Mesure NO ₂	Mesure BTEX	Photo du point de mesure
1	Chemin de l'Argile	Marseille	T	X	-	
2	Parc du 26ème Centenaire	Marseille	U	X	X	
3	Avenue Jules Cantini	Marseille	T	X	-	
4	Parc du 26ème Centenaire	Marseille	U	X	-	
5	Parc du 26ème Centenaire	Marseille	U	X	-	

Point de mesure	Localisation	Commune	Type	Mesure NO ₂	Mesure BTEX	Photo du point de mesure
6	Parc du 26ème Centenaire	Marseille	U	X	X	
7	Avenue Jules Cantini	Marseille	T	X	X	
8	Avenue Jules Cantini	Marseille	T	X	X	
9	Passerelle Rabatau	Marseille	T	X	-	
10	Boulevard Schloësing	Marseille	T	X	X	

Point de mesure	Localisation	Commune	Type	Mesure NO ₂	Mesure BTEX	Photo du point de mesure
11	Boulevard Rabatau	Marseille	U	X	X	
12	Boulevard de Maillane	Marseille	U	X	-	

III.6.5. Résultats des campagnes de mesures

MESURE DE DIOXYDE D'AZOTE - NO₂

❖ Campagne hivernale :

Etude: TUNNEL SCHLOESING		Date d'analyse: 01.12.2014				blanc 0.009		réactif couleur: 18.11.2014			taux 9°C		0.8536 ml/min			
Lieu	début	fin		durée	absorption brute		concentration ug/m ³			moyen	écart					
Code: FCH	date	heure	date	heure	heures	code	valeur 1	code	valeur 2	code	valeur 3	valeur 1	valeur 2	valeur 3	ug/m ³	stand. %
1	10/02/2015	15:45	24/02/2015	15:20	335.58	20	0.537					68.0			68.0	
2	10/02/2015	15:50	24/02/2015	15:25	335.58	24	0.413					52.0			52.0	
3	10/02/2015	15:55	24/02/2015	15:30	335.58	19	0.469					59.3			59.3	
4	10/02/2015	16:05	24/02/2015	15:35	335.50	21	0.421					53.1			53.1	
5	10/02/2015	16:10	24/02/2015	15:40	335.50	23	0.406					51.1			51.1	
6	10/02/2015	16:15	24/02/2015	15:45	335.50	18	0.482					61.0			61.0	
7	10/02/2015	16:30	24/02/2015	15:55	335.42	13	0.247			2 x réactif couleur		61.1			61.1	
8	10/02/2015	16:35	24/02/2015	16:00	335.42	14	0.330			2 x réactif couleur		82.6			82.6	
9	10/02/2015	16:40	24/02/2015	16:05	335.42	22	0.360			2 x réactif couleur		90.4			90.4	
10	10/02/2015	16:45	24/02/2015	16:10	335.42	17	0.305			2 x réactif couleur		76.1			76.1	
11	10/02/2015	16:55	24/02/2015	16:15	335.33	16	0.388					48.8			48.8	
12	10/02/2015	17:15	24/02/2015	16:30	335.25	15	0.371					46.6			46.6	
Date d'arrivée: 25.11.2014											Limite de détection		0.4 ug/m ³	14 jours		

Au niveau de l'aire d'étude, la concentration moyenne en dioxyde d'azote des sites de proximité automobile est supérieure à 59.3 µg/m³ et de 46.6 µg/m³ au niveau des sites de fond urbains.

Globalement on retrouve des niveaux de concentrations proches de celles mesurées quotidiennement à l'échelle de la ville.

Ces mesures montrent que la zone du projet se situe essentiellement dans une zone de pollution importante. On mesure en effet majoritairement des concentrations élevées dépassant la valeur limite pour la protection de la santé (> 40 µg/m³).

❖ Campagne estivale :

Lieu		début		fin		durée		absorption brute		concentration ug/m ³			moyen		écart
Code: FCH		date		date		heures		code		valeur			ug/m ³		stand. %
2		09/04/2015 15:40		23/04/2015 15:15		335.58		2		40.0			40.0		
1		09/04/2015 15:45		23/04/2015 15:10		335.42		1		2 x réactif couleur 71.2			71.2		
4		09/04/2015 15:50		23/04/2015 15:20		335.50		10		44.5			44.5		
5		09/04/2015 15:55		23/04/2015 15:25		335.50		3		45.3			45.3		
6		09/04/2015 16:00		23/04/2015 15:30		335.50		7		56.0			56.0		
3		09/04/2015 16:05		23/04/2015 15:35		335.50		9		54.7			54.7		
7		09/04/2015 16:10		23/04/2015 15:40		335.50		12		49.1			49.1		
8		09/04/2015 16:15		23/04/2015 15:45		335.50		8		2 x réactif couleur 94.5			94.5		
9		09/04/2015 16:20		23/04/2015 15:50		335.50		5		2 x réactif couleur 94.0			94.0		
10		09/04/2015 16:25		23/04/2015 15:55		335.50		6		2 x réactif couleur 72.0			72.0		
11		09/04/2015 16:30		23/04/2015 16:00		335.50		4		43.5			43.5		
12		09/04/2015 16:40		23/04/2015 16:10		335.50		11		38.8			38.8		
Date d'arrivée: 29.04.2015											Limite de détection		0.4 ug/m ³		14 jours

Au niveau de l'aire d'étude, la concentration moyenne en dioxyde d'azote des sites de proximité automobile est supérieure à 54.7 µg/m³ et de 38.8 µg/m³ au niveau des sites de fond urbains.

Globalement on retrouve des niveaux de concentrations proches de celles mesurées quotidiennement à l'échelle de la ville.

Ces mesures montrent que la zone du projet se situe essentiellement dans une zone de pollution importante. On mesure en effet majoritairement des concentrations élevées dépassant la valeur limite pour la protection de la santé (> 40 µg/m³).

❖ Campagne automnale :

CIA, Marseille		Période de mesure 07/11/2017 jusqu'au 22/11/2017														
Etude: Schloesing CIA		Date d'analyse: 01.12.2017		Analyste: IA		blanc		0,008		réactif couleur: 27.11.2017		taux 9°C		0,8536 ml/min		
Lieu	début date	heure	fin date	heure	durée heures	FCH code	valeur 1	absorption brute code	valeur 2	code	valeur 3	concentration ug/m ³			moyen ug/m ³	écart stand. %
1	07/11/2017	09:55	22/11/2017	10:00	360,08	58	0,275			2 x réactif couleur		63,9			63,9	
2	07/11/2017	10:00	22/11/2017	10:05	360,08	57	0,239			2 x réactif couleur		55,3			55,3	
3	07/11/2017	10:30	22/11/2017	10:30	360,00	84	0,248			2 x réactif couleur		57,4			57,4	
4	07/11/2017	10:35	22/11/2017	11:20	360,75	100	0,426					50,1			50,1	
5	07/11/2017	10:40	22/11/2017	11:25	360,75	83	0,408					47,9			47,9	
6	07/11/2017	10:45	22/11/2017	11:30	360,75	99	0,431					50,7			50,7	
8	07/11/2017	10:55	22/11/2017	11:10	360,25	94	0,303			2 x réactif couleur		70,7			70,7	
9	07/11/2017	11:10	22/11/2017	11:05	359,92	75	0,352			2 x réactif couleur		82,5			82,5	
7	07/11/2017	11:20	22/11/2017	10:25	359,08	76	0,234			2 x réactif couleur		54,2			54,2	
10	07/11/2017	11:30	22/11/2017	10:55	359,42	92	0,283			2 x réactif couleur		66,0			66,0	
11	07/11/2017	11:45	22/11/2017	10:45	359,00	78	0,414					48,9			48,9	
12	07/11/2017	12:50	22/11/2017	10:37	357,78	91	0,388					45,9			45,9	

Date d'arrivée: 01.12.2017

Limite de détection 0.4 ug/m³ 14 jours

Les valeurs ne sont représentatives que pour le lieu de mesure immédiat. Conclusions pour des lieux plus éloignés sous réserve.

Incertitude www.passam.ch/products.htm

Ces données font partie d'une série de mesures à long-terme et ne peuvent pas être reproduites sans autorisation de la société de p

Contrôler: CP

Approuver:

La concentration moyenne des points de proximité trafic est de 65,8 µg/m³ et de 49,8 µg/m³ au niveau des points de fonds urbains.

Ces mesures montrent confirment les teneurs élevées déjà mesurées en 2015 lors des deux précédentes campagnes de mesures. Les concentrations sont du même ordre de grandeur et on observe pas d'amélioration des résultats.

Durant cette campagne de mesure, tous les points de mesures sont supérieurs au seuil réglementaire de 40 µg/m³, témoignant d'une qualité de l'air très dégradée.

MESURE DES HYDROCARBURES - BTEX

❖ Campagne hivernale :

Code		Lieu	Date d'arrivé: 3.3.15		Date d'analyse: 6.03.15					
FCH	Début Date/heure		Fin Date/heure	Durée heures	Benzène [ug/m ³]	Toluène [ug/m ³]	Ethylbenzol [ug/m ³]	p-Xylène [ug/m ³]	m-Xylène [ug/m ³]	o-Xylène [ug/m ³]
7	2	10/02/2015 15:50	24/02/2015 15:25	335.6	2.1	3.7	0.5	1.0	1.6	0.9
11	6	10/02/2015 16:10	24/02/2015 15:45	335.6	2.5	6.3	1.0	0.9	2.5	1.3
8	7	10/02/2015 16:30	24/02/2015 15:55	335.4	2.9	7.1	1.1	1.4	2.7	1.0
12	8	10/02/2015 16:35	24/02/2015 16:00	335.4	3.4	10.0	1.7	1.5	4.2	2.0
10	10	10/02/2015 16:45	24/02/2015 16:10	335.4	3.4	9.9	1.4	2.0	3.9	2.1
9	11	10/02/2015 16:55	24/02/2015 16:15	335.3	2.5	5.7	0.8	0.9	1.7	1.0
limite de detection				14 jours	0.4ug/m ³	Incertitude de mesure www .passam.ch/products.htm				

Au niveau de l'aire d'étude, la concentration moyenne en benzène des sites de proximité automobile est supérieure à 2.5 µg/m³ et de 2.1 µg/m³ au niveau des sites de fond urbains.

On note ici des valeurs proches qui témoignent de l'homogénéité du site d'étude pour ce polluant.

Les concentrations mesurées restent néanmoins globalement supérieures à l'objectif de qualité fixé par la réglementation en vigueur (> 2.0 µg/m³).

❖ Campagne estivale :

Code		Lieu	Date d'arrivé: 29.4.15		Date d'analyse: 1.5.15					
FCH	Début Date/heure		Fin Date/heure	Durée heures	Benzène [ug/m ³]	Toluène [ug/m ³]	Ethylbenzol [ug/m ³]	p-Xylène [ug/m ³]	m-Xylène [ug/m ³]	o-Xylène [ug/m ³]
3	2	09/04/2015 15:40	23/04/2015 15:15	335.6	1.4	22.3	1.5	1.4	2.5	1.0
2	6	09/04/2015 16:00	23/04/2015 15:30	335.5	1.7	13.2	1.2	1.4	3.2	1.2
1	7	09/04/2015 16:10	23/04/2015 15:40	335.5	2.1	13.7	1.7	1.7	3.6	1.5
5	8	09/04/2015 16:15	23/04/2015 15:45	335.5	3.0	35.8	2.6	2.5	6.2	2.6
6	10	09/04/2015 16:25	23/04/2015 15:55	335.5	2.2	28.8	2.0	2.2	4.6	1.8
4	11	09/04/2015 16:30	23/04/2015 16:00	335.5	1.5	26.5	1.3	1.5	3.5	1.1
limite de detection				14 jours	0.4ug/m ³	Incertitude de mesure w w w .passam.ch/products.htm				

Au niveau de l'aire d'étude, la concentration moyenne en benzène des sites de proximité automobile est supérieure à 1.5 µg/m³ et de 1.4 µg/m³ au niveau des sites de fond urbains.

On note ici des valeurs proches (bien qu'inférieures aux valeurs mesurées l'hiver) qui témoignent de l'homogénéité du site d'étude pour ce polluant.

Les concentrations mesurées restent néanmoins globalement supérieures à l'objectif de qualité fixé par la réglementation en vigueur (> 2.0 µg/m³).

❖ Campagne automnale :**Mesure de Hydrocarbure**

Méthode d'échantillonnage: Tube passif SP16

Méthode d'analyse : Désorption avec CS2 Chromatographie gazeuse

CIA MARSEILLE Schloesing CIA

Mesure de 7.11.17 à 22.11.17

Date d'arrivé: 1.12.17

Date d'analyse: 8.12.17

Code	Lieu	Début Date/heure	Fin Date/heure	Durée heures	Benzène [ug/m ³]	Toluène [ug/m ³]	Ethylbenzol [ug/m ³]	p-Xylène [ug/m ³]	m-Xylène [ug/m ³]	o-Xylène [ug/m ³]
85	2	07/11/2017 10:00	22/11/2017 10:05	360,1	2,7	5,0	2,1	1,6	3,6	1,6
100	6	07/11/2017 10:45	22/11/2017 11:30	360,8	3,1	5,9	2,6	2,5	4,5	2,3
88	8	07/11/2017 10:55	22/11/2017 11:10	360,3	3,4	8,9	2,8	2,5	5,8	2,3
89	7	07/11/2017 11:20	22/11/2017 10:25	359,1	3,3	7,9	2,6	2,6	5,5	2,3
81	10	07/11/2017 11:30	22/11/2017 10:55	359,4	*	*	*	*	*	*
82	11	07/11/2017 11:45	22/11/2017 10:45	359,0	2,7	5,3	1,9	1,9	3,9	1,8

limite de detection

14 jours

0.4ug/m³

Incertitude de mesure w w w .passam.ch/products.htm

Au niveau de l'aire d'étude, la concentration en benzène des sites de proximité automobile est de 2,3 µg/m³ et de 1,9 µg/m³ au niveau des sites de fond urbains.

Les concentrations sont assez proches les unes des autres témoignant comme pour les précédentes campagnes d'une homogénéité des concentrations sur le site d'étude.

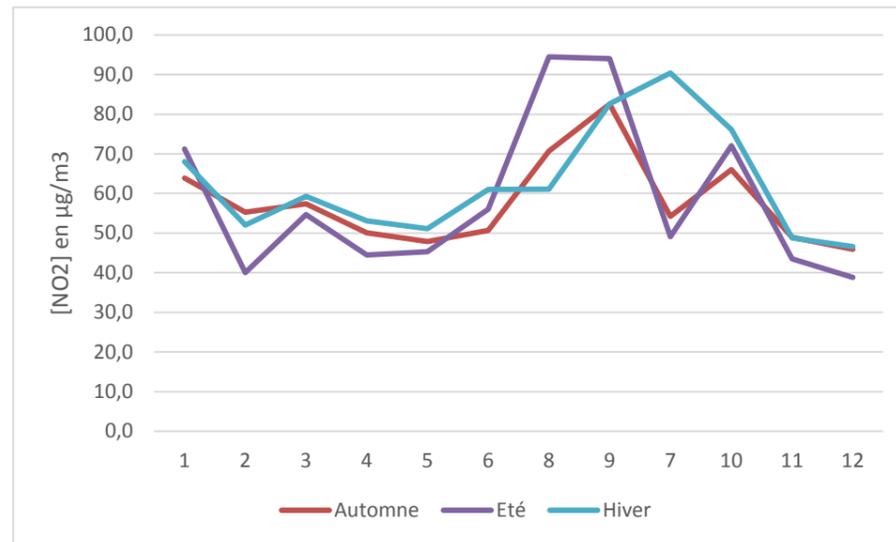
Les mesures réalisées sont supérieures à l'objectif de qualité (2 µg/m³) pour les points trafics et très légèrement inférieure pour les points de fond urbain.

III.6.6. Conclusion

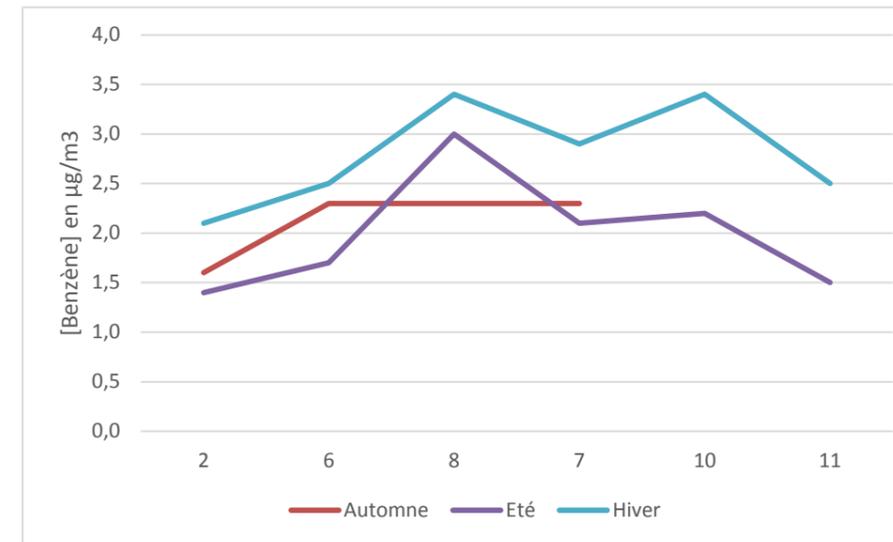
Les mesures de la qualité de l'air réalisées en bordure du projet de Tunnel de Schœsing à Marseille (13) témoignent des concentrations actuelles de pollution assez élevées et supérieures aux seuils de qualités recommandés par la réglementation pour les 2 polluants tracés : le Dioxyde d'Azote et le benzène.

Les niveaux mesurés, témoignent de la qualité de l'air sur le site dans sa configuration initiale et constituent des niveaux de référence auxquels on pourra se reporter lors des phases ultérieures du projet de Tunnel de Schœsing à Marseille (13).

On note que les niveaux mesurés sont légèrement inférieurs en période estivale qu'en période hivernale.



COMPARAISON NO₂ HIVERNALE/ESTIVALE/AUTOMNALE



COMPARAISON BENZENE HIVERNALE/ESTIVALE/AUTOMNALE

IV. IMPACT DU PROJET

Conformément à la note méthodologique relative aux études « Air et santé » de niveau II, l'étude prévisionnelle consiste à réaliser :

- Une estimation des émissions de polluants et de la consommation énergétique au niveau du domaine d'étude ;
- Une modélisation de la dispersion des polluants dans la bande d'étude.

Pour mémoire, ce projet vise à assurer un transit en souterrain pour les échanges entre le BD Schloësing et le nœud A50 / Prado Carénage qui se font actuellement via la place Ferrié et le Bd Rabatau. L'axe actuel Place Ferrié / Bd Rabatau se trouverait ainsi considérablement déchargé en trafic et c'est toutes les circulations qui se font par Rabatau nord / Le Jarret au nord qui en bénéficieraient.

On retiendra qu'à terme d'autres projets structurants sont aujourd'hui programmés : requalification de la place Ferrié, mise en service de la L2 (L2 est 2016 & L2 nord en 2018), mise en service partielle du BUS (2023). Ces projets ont des effets importants en terme de répartition des circulations routières à l'échelle de la ville (voir détail dans l'étude de trafic réalisée par Setec).

IV.1. Données d'entrée

IV.1.1. Données trafic

Les entrants indispensables à la réalisation de l'étude prévisionnelle sont les données issues de modélisations de trafic réalisées dans la zone d'étude du projet. Il s'agit des en Trafic Moyen Journalier Annuel, de la vitesse réglementaire des véhicules, ainsi que de la part de poids-lourds, et ce pour chacun des tronçons routiers considérés. Les cartes sont données en annexe de la présente étude.

Les scénarios retenus sont étudiés aux horizons suivant :

- Actuel 2017,
- Référence 2042 (sans projet, évolution au fil de l'eau),
- Projet 2042 (avec projet de tunnel Schloësing).

IV.1.2. Définition du domaine d'étude

En termes de qualité de l'air et de santé, le domaine d'étude est composé du projet lui-même et de l'ensemble du réseau routier subissant, du fait de la réalisation du projet, une modification (augmentation ou réduction) des flux de trafic de plus de 10 %.

La circulaire du 25 février 2005 définit la largeur de la **bande d'étude** à prendre en compte selon les trafics sur les axes étudiés.

Ainsi, en termes de qualité de l'air et de santé, la bande d'étude est centrée sur chaque section étudiée qui subit, du fait de la réalisation du projet, une variation (hausse ou baisse) significative de son niveau de trafic (comme pour le domaine d'étude).

Pour la pollution particulaire (métaux lourds, ...), la largeur globale de la bande d'étude est théoriquement fixée à 100 m, quel que soit le niveau de trafic, en attendant les résultats de recherches complémentaires des autorités compétentes en la matière.

Pour la pollution gazeuse, la largeur minimale de la bande d'étude, appliquée de part et d'autre de l'axe médian du tracé le plus significatif du projet, est définie dans le tableau ci-après. Cette largeur est fonction du Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) prévu à terme, ou, en milieu urbain, du trafic à l'heure de pointe la plus chargée.

Les valeurs de largeur précisées ci-dessous sont issues des rapports CERTU-CETE Méditerranée : *Dispersion de la pollution aux environs d'une route, Volet « santé »*.

TMJA à l'horizon d'étude (véh/jour)	Trafic à l'heure de pointe (uvp/h)	Largeur minimale de la bande d'étude (en m) de part et d'autre de l'axe
> 100 000	> 10 000	300
de 50 000 à 100 000	de 5 000 à 10 000	300
de 25 000 à 50 000	de 2 500 à 5 000	200
de 10 000 à 25 000	de 1 000 à 2 500	150
≤ 10 000	≤ 1 000	100

Tableau 1 : Définition de la largeur de la bande d'étude

Au droit du domaine d'étude, les axes modélisés supporteront un trafic moyen journalier annuel supérieur à 50 000 veh/j pour certains axes, d'après l'étude de trafic. La largeur de la bande d'étude retenue est donc de 300 mètres de part et d'autre de l'axe du projet.

Présentation du domaine d'étude et sa bande d'étude de 300 m



Carte de trafics



N° du brin	Nom des voies	Longueur mètres	Vitesse moyenne	Situation actuelle 2017			Situation référence 2042			Situation projet 2042		
				TMJA tot	TMJA Poids Lourds	%PL	TMJA tot	TMJA Poids Lourds	%PL	TMJA tot	TMJA PL	%PL
1	PASSERELLE RABATAU	213,37	50	10 783	-	-	8 098	-	-	-	-	-
2	BD RABATAU	250,59	50	2 017	81	4%	5 315	213	4%	13 089	524	4%
3	AV JULES CANTINI	427,93	50	15 732	629	4%	17 969	719	4%	14 361	574	4%
4	CHE DE L'ARGILE	422,39	50	7 979	319	4%	8 202	328	4%	3 691	148	4%
5	BD RABATAU	161,67	50	12 702	508	4%	12 542	502	4%	12 488	500	4%
6	PASSERELLE RABATAU	51,66	30	27 783	-	-	24 529	-	-	-	-	-
7		90,59	50	5 811	232	4%	5 336	213	4%	21 314	853	4%
8	BD RABATAU	93,48	50	30 147	1 206	4%	26 626	1 065	4%	19 822	793	4%
9	BD RABATAU	221,10	50	25 502	1 020	4%	25 955	1 038	4%	25 577	1 023	4%
10	BD RABATAU	14,12	50	12 702	508	4%	12 542	502	4%	12 488	500	4%
11	PASSERELLE RABATAU	22,37	30	10 783	-	-	8 098	-	-	-	-	-
12	TUNNEL PRADO SUD	60,15	50	3 806	-	-	5 068	-	-	9 322	-	-
13	AV JULES CANTINI	390,33	50	13 946	558	4%	13 093	524	4%	8 711	348	4%
14	R ARTHUR SCOTT	302,40	50	9 133	365	4%	7 538	302	4%	7 256	290	4%
15	AV JULES CANTINI	40,37	50	8 527	341	4%	7 918	317	4%	3 305	132	4%
16	TUNNEL PRADO CARENAGE	276,46	50	5 764	-	-	8 596	-	-	4 823	-	-
17	TUNNEL PRADO CARENAGE	222,90	50	2 757	-	-	5 414	-	-	4 589	-	-
18	CHE DE L'ARGILE	128,23	50	771	31	4%	652	26	4%	484	19	4%
19	CHE DE L'ARGILE	43,64	50	1 699	68	4%	1 291	52	4%	3 883	155	4%
20	TUNNEL PRADO SUD	322,36	50	2 604	-	-	4 089	-	-	5 844	-	-
21	TUNNEL PRADO SUD	32,88	50	3 616	-	-	5 005	-	-	7 711	-	-
22	AV JULES CANTINI	81,82	50	18 246	730	4%	16 572	663	4%	11 414	457	4%
23	AV JULES CANTINI	27,63	50	18 225	729	4%	16 551	662	4%	11 394	456	4%
24	AV JULES CANTINI	12,96	50	13 917	557	4%	12 813	513	4%	5 412	216	4%
25	AV JULES CANTINI	51,51	50	18 246	730	4%	16 572	663	4%	11 414	457	4%
26	R JACQUES HEBERT	49,22	50	4 040	162	4%	2 999	120	4%	6 325	253	4%
27	R ARTHUR SCOTT	41,88	50	13 739	550	4%	12 376	495	4%	14 365	575	4%
28	R ARTHUR SCOTT	33,62	50	1 042	42	4%	1 896	76	4%	1 626	65	4%
29	R ARTHUR SCOTT	33,18	50	35 041	1 402	4%	33 123	1 325	4%	33 098	1 324	4%
30	R ARTHUR SCOTT	41,90	50	30 465	1 219	4%	29 623	1 185	4%	32 001	1 280	4%
31	R ARTHUR SCOTT	22,80	50	23 217	929	4%	21 631	865	4%	19 225	769	4%
32	R ARTHUR SCOTT	8,14	50	24 288	972	4%	23 641	946	4%	20 880	835	4%
33	R JACQUES HEBERT	21,66	50	6 901	276	4%	5 726	229	4%	7 890	316	4%
34	R ARTHUR SCOTT	28,31	50	23 564	943	4%	23 897	956	4%	24 111	964	4%
35	TUNNEL PRADO CARENAGE	75,75	50	20 709	-	-	24 915	-	-	20 406	-	-
36	R JACQUES HEBERT	56,83	50	3 987	159	4%	2 999	120	4%	6 325	253	4%
37	TUNNEL PRADO CARENAGE	84,55	50	20 364	-	-	26 005	-	-	23 661	-	-
38	AV JULES CANTINI	153,99	50	14 116	565	4%	13 316	533	4%	9 008	360	4%
39	AV JULES CANTINI	67,69	50	15 425	617	4%	17 694	708	4%	13 852	554	4%
40		50,56	50	4 379	-	-	6 223	-	-	2 415	-	-
41	R ARTHUR SCOTT	17,05	50	5 520	221	4%	6 718	269	4%	6 000	240	4%
42	R ARTHUR SCOTT	23,85	50	3 051	122	4%	3 437	137	4%	3 856	154	4%
43	R ARTHUR SCOTT	19,09	50	7 329	293	4%	7 474	299	4%	3 010	120	4%
44	R ARTHUR SCOTT	12,38	50	7 329	293	4%	7 474	299	4%	3 010	120	4%
45		7,33	50	12 436	497	4%	11 444	458	4%	6 954	278	4%
46	R ARTHUR SCOTT	7,35	50	15 488	620	4%	14 881	595	4%	10 810	432	4%
47	R ARTHUR SCOTT	22,14	50	9 343	374	4%	9 437	377	4%	4 918	197	4%
48	R ARTHUR SCOTT	3,87	50	1 250	50	4%	1 227	49	4%	1 132	45	4%
49	CHE DE L'ARGILE	107,78	50	1 366	55	4%	1 018	41	4%	820	33	4%
50	R ARTHUR SCOTT	23,70	50	4 219	169	4%	5 747	230	4%	5 219	209	4%
51		26,64	50	943	-	-	1 855	-	-	1 095	-	-
52	R ARTHUR SCOTT	10,16	50	3 051	122	4%	3 437	137	4%	3 856	154	4%
53	CHE DE L'ARGILE	72,17	50	1 301	52	4%	972	39	4%	781	31	4%
54	CHE DE L'ARGILE	61,22	50	871	35	4%	846	34	4%	3 635	145	4%
55		144,12	50	9 616	385	4%	10 409	416	4%	17 538	702	4%
56	BD SCHLOESING	193,04	50	26 053	1 042	4%	23 356	934	4%	13 803	552	4%
57	PASSERELLE RABATAU	21,35	30	17 000	-	-	16 431	-	0%	-	-	-
58	BD SCHLOESING	79,61	50	51 811	2 072	4%	49 378	1 975	4%	31 342	1 254	4%
59	BD SCHLOESING	192,41	50	51 811	2 072	4%	49 378	1 975	4%	51 594	2 064	4%
60	PASSERELLE RABATAU	155,17	30	17 000	-	-	16 431	-	-	-	-	-
61		57,71	50	5 811	232	4%	5 336	213	4%	21 314	853	4%
62	BD SCHLOESING	57,78	50	9 616	385	4%	10 409	416	4%	17 538	702	4%
63		10,35	50	-	-	-	-	-	-	1 264	51	4%
64	PASSERELLE RABATAU	31,24	30	10 783	-	-	8 098	-	-	-	-	-
65	TUNNEL PRADO SUD	31,52	50	3 806	-	-	5 068	-	-	9 322	-	-
66	Projet	24,66	50	-	-	-	-	-	-	13 901	-	-
67	BD RABATAU	69,48	50	12 702	508	4%	12 542	502	4%	12 488	500	4%
68		11,67	50	9 542	382	4%	10 327	413	4%	18 797	752	4%
69		10,73	50	9 542	382	4%	10 327	413	4%	17 533	701	4%
70		3,45	50	9 542	382	4%	10 327	413	4%	17 533	701	4%
71	PASSERELLE RABATAU	39,03	30	27 783	-	-	24 529	-	-	-	-	-
72	BD RABATAU	35,74	50	30 147	1 206	4%	26 626	1 065	4%	19 822	793	4%
73	BD DES ACIERIES	33,88	50	-	-	-	-	-	-	33 722	1 349	4%
74	BD RABATAU	30,53	50	30 147	1 206	4%	26 626	1 065	4%	-	-	-
75	PASSERELLE RABATAU	52,40	30	17 000	-	-	16 431	-	-	-	-	-
76	BD DES ACIERIES	26,65	50	-	-	-	-	-	-	31 921	1 277	4%

TABLEAU 2 : ÉVOLUTION DU TRAFIC DANS LA BANDE D'ÉTUDE

	Km parcourus	Impact
Actuel 2017	130 097	-
Référence 2042	120 372	-7,5 % / Actuel
Projet 2042	114 097	-5,2 % / Référence

Le nombre de kilomètres parcourus, tous véhicules confondus, diminue au fil de l'eau. On observe une diminution du trafic sur l'ensemble de la zone d'étude. Notons également qu'à l'horizon 2042, la L2 et le Boulevard Urbain Sud sont en service, engendrant une légère baisse de fréquentation de la zone d'étude. Les passerelles situées sur le boulevard Schloesing et Rabatau restent en place dans cette situation.

L'implantation du projet entraîne une diminution des kilomètres parcourus, tous véhicules parcourus, de 5,2% par rapport à l'état de référence 2042. Cette diminution résulte d'une destruction des passerelles situées sur le boulevard Schloesing et Rabatau et remplacées par un giratoire au niveau de la place Ferrié. Certains axes voient leur fréquentation baisser de moitié, comme le chemin de l'argile et d'autres voient leur fréquentation augmenter.

IV.1.3. Conditions météorologiques

Les paramètres météorologiques les plus influents en matière de pollution atmosphérique sont :

- La direction du vent,
- La vitesse du vent,
- La stabilité de l'atmosphère.

Les deux premiers paramètres concernant les vents (direction et force) ont été fournis par la rose des vents moyenne observée à la station Météo France de Narbonne, située à une soixantaine de kilomètre à l'Est de la zone d'étude, sur la période du 1^{er} janvier 1979 au 01 janvier 2009. Il s'agit donc des conditions d'expositions moyennes du domaine d'étude, observées depuis plus d'une soixantaine d'années.

La stabilité de l'atmosphère, destinée à quantifier les propriétés diffuses de l'air dans les basses couches de l'atmosphère, est définie selon six catégories, appelées classes de stabilité de Pasquill :

- Classe A : très fortement instable,
- Classe B : très instable,
- Classe C : instable,
- Classe D : neutre,
- Classe E : Stable,

- Classe F : très stable.

Dans le cas présent, l'hypothèse d'une classe de stabilité de l'atmosphère « neutre » est prise par défaut sur tout le domaine d'étude.

IV.1.4. Occupation du sol

L'occupation des sols permet notamment de prendre en compte la rugosité du sol et son albédo (pouvoir réfléchissant du sol). Dans la présente étude, l'occupation est de type « urbain ».

IV.1.5. Répartition du parc automobile

Le parc automobile donne la distribution par type de voie (urbain, route et autoroute) des différentes catégories de véhicules (VP, VUL, PL, 2R), par combustible (essence ou diesel), par motorisation et par norme (EURO). La répartition du parc roulant à l'horizon étudié est extraite des statistiques disponibles du parc français. Pour la répartition des véhicules utilitaires légers il a été fait le choix de considérer un pourcentage moyen national de 23 % des véhicules légers.

IV.2. Calcul d'émissions de polluants et de la consommation énergétique

IV.2.1. Bilan de la consommation énergétique

Le bilan énergétique du projet prend en compte :

- La consommation de carburant actuellement liée au trafic,
- La consommation de carburant future sans aménagement liée au trafic,
- La consommation de carburant future avec l'aménagement liée au trafic.

Le tableau suivant présente les résultats de la consommation énergétique journalière sur le domaine d'étude. Le total est exprimé en tonnes équivalent pétrole (TEP).

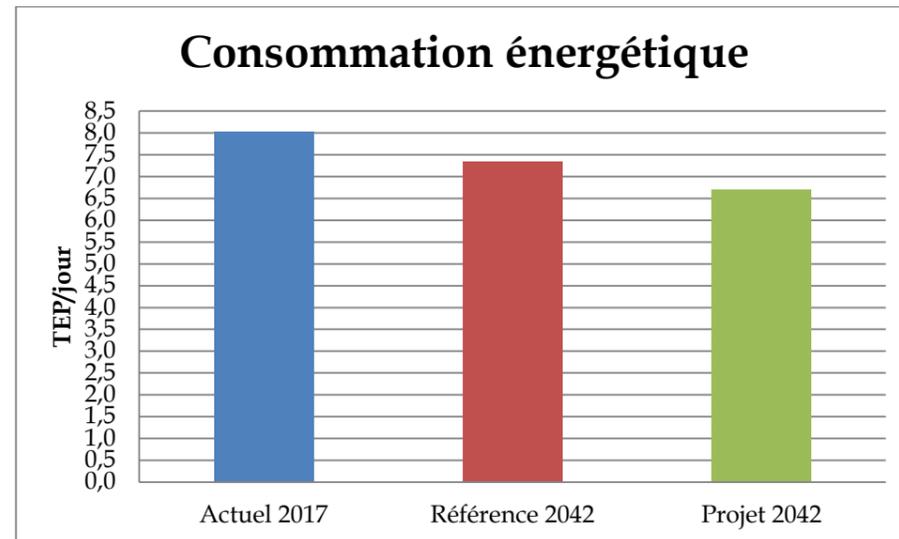


FIGURE 16 : CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE TOTALE SUR LE DOMAINE D'ÉTUDE

Entre 2017 et 2042 au fil de l'eau, la consommation énergétique totale diminue de 8,5% pour une diminution du nombre de kilomètre parcourus de 7,5%. A l'horizon 2042, le projet engendre une diminution de 8,5% de la consommation énergétique pour une diminution du nombre de kilomètre parcourus de 5,2%.

IV.2.2. Bilan des émissions en polluants

Le bilan des émissions en polluants (et leurs variations), pour l'ensemble de la zone d'étude aux horizons étudiés est présentés dans le tableau suivant.

TABLEAU 3 : ÉMISSIONS MOYENNES JOURNALIÈRES SUR LE DOMAINE D'ÉTUDE

Sur l'ensemble du projet	CO	NOX	NMVOC	CO ₂	SO ₂	PM10	PM2.5	Benzène	Cadmium	Nickel
	kg/j	kg/j	kg/j	T/j	kg/j	kg/j	kg/j	kg/j	g/j	g/j
Actuel 2017	31,876	79,588	2,996	27,066	0,683	7,768	3,436	0,085	0,161	3,518
Référence 2042	21,287	73,544	2,171	24,837	0,627	6,954	2,965	0,056	0,151	3,411
Variation										
au « Fil de l'eau »	-33,2%	-7,6%	-27,5%	-8,2%	-8,2%	-10,5%	-13,7%	-33,8%	-6,0%	-3,0%
Projet 2042	19,380	67,189	1,975	22,722	0,574	6,475	2,727	0,051	0,144	3,400
Impact projet										
2042	-9,0%	-8,6%	-9,1%	-8,5%	-8,5%	-6,9%	-8,0%	-8,8%	-4,7%	-0,3%

Le scénario au fil de l'eau montre une diminution générale des émissions de polluants, 34% des émissions de benzène, 33% des émissions de CO, 28% des émissions de COV, 14% des émissions de PM2,5, 11% des émissions de PM10, 8% des émissions de NOx, 8% des émissions de CO₂ et 6% des émissions du Cadmium et 3% des émissions de Nickel.

L'amélioration technique des équipements permettent d'observer une baisse importante des émissions de benzène et de COV. On rappelle encore une fois que l'on observe une légère baisse de la fréquentation de la zone d'étude induite par les projets comme la mise en service de la L2 et du Boulevard Urbain Sud.

La mise en service du projet induit une baisse des émissions de polluants de l'ordre de 8-9% pour l'ensemble des polluants. La mise en place du tunnel et la démolition des passerelles en situation projet, permet une réorganisation du trafic et une amélioration des émissions de polluants.

IV.3. Modélisation de la dispersion des polluants

IV.3.1. Concentrations calculées sur le domaine d'étude

Le tableau suivant présente les résultats modélisés des principaux polluants sur l'ensemble de l'aire d'étude en concentrations maximales et moyennes.

Les résultats n'intègrent pas les concentrations de fond sur la zone d'étude afin d'évaluer l'impact du projet seul.

TABLEAU 4 : CONCENTRATIONS MOYENNES ET MAXIMALES MODÉLISÉES SUR L'AIRES D'ÉTUDE

	Type de valeur	Actuel 2017	Sans projet 2042	Avec projet 2042	Pourcentage de variation entre avec et sans projet
Benzène (µg/m³)	Maximale	0,018	0,012	0,011	-8%
	Moyenne	0,0055	0,0036	0,0034	-5,5%
Cd (ng/m³)	Maximale	0,031	0,030	0,029	-3,3%
	Moyenne	0,010	0,009	0,009	0%
CO (µg/m³)	Maximale	6,45	4,52	4,13	-8,6%
	Moyenne	2,06	1,39	1,26	-9,3%
Nickel (ng/m³)	Maximale	0,66	0,65	0,64	-1,5%
	Moyenne	0,22	0,21	0,21	0%
NO ₂ (µg/m³)	Maximale	9,90	9,65	9,15	-5%
	Moyenne	3,49	3,28	3,02	-8%
PM10 (µg/m³)	Maximale	1,44	1,34	1,29	-3,7%
	Moyenne	0,43	0,39	0,37	-5%
PM2,5 (µg/m³)	Maximale	0,67	0,60	0,56	-6,7%
	Moyenne	0,21	0,18	0,17	-5,6%
SO ₂ (µg/m³)	Maximale	0,134	0,127	0,118	-7%
	Moyenne	0,041	0,038	0,035	-8%

20 ans après la mise en service du tunnel de Schloesing, les concentrations maximales observées sur la zone d'étude diminuent de 4 à 9% pour l'ensemble des polluants, sauf pour le Nickel pour lequel la concentration maximale augmente de 1,5%.

Ces variations ne sont représentatives que du point où se situe la concentration maximale. Ainsi, une analyse plus fine de l'ensemble du domaine d'étude est réalisée ci-après, via les cartes de dispersion qui suivent.

On remarque également que les concentrations maximales observées dans la bande d'étude restent largement inférieures aux objectifs de qualité de l'air. On rappelle cependant que les résultats présentés n'intègrent pas la pollution de fond.

Le tableau ci-après présente les résultats de la modélisation lorsque l'on intègre la pollution de fond, dans les cas du benzène, du dioxyde d'azote et des particules (PM10).

Les concentrations de fond sont de 1,2µg/m³ pour le benzène, 16µg/m³ pour le NO₂ et 24µg/m³ pour les PM10.

TABLEAU 5 : CONCENTRATIONS MOYENNES ET MAXIMALES MODELISEES SUR L'AIRES D'ÉTUDE AVEC POLLUTION DE FOND

	Type de valeur	Actuel 2017	Sans projet 2042	Avec projet 2042	Pourcentage de variation entre avec et sans projet
Benzène (µg/m³)	Maximale	1,22	1,21	1,21	0%
	Moyenne	1,20	1,20	1,20	0%
NO ₂ (µg/m³)	Maximale	25,9	25,6	25,1	-2%
	Moyenne	19,5	19,2	19,0	-1%
PM10 (µg/m³)	Maximale	25,4	25,3	25,2	-0,4%
	Moyenne	24,4	24,3	24,3	0%

On remarque ainsi que les variations entre la situation de référence et la situation future avec projet ne sont pas significatives car égales à 0; elles sont négligeables dans le cas du dioxyde d'azote car égales à -2%.

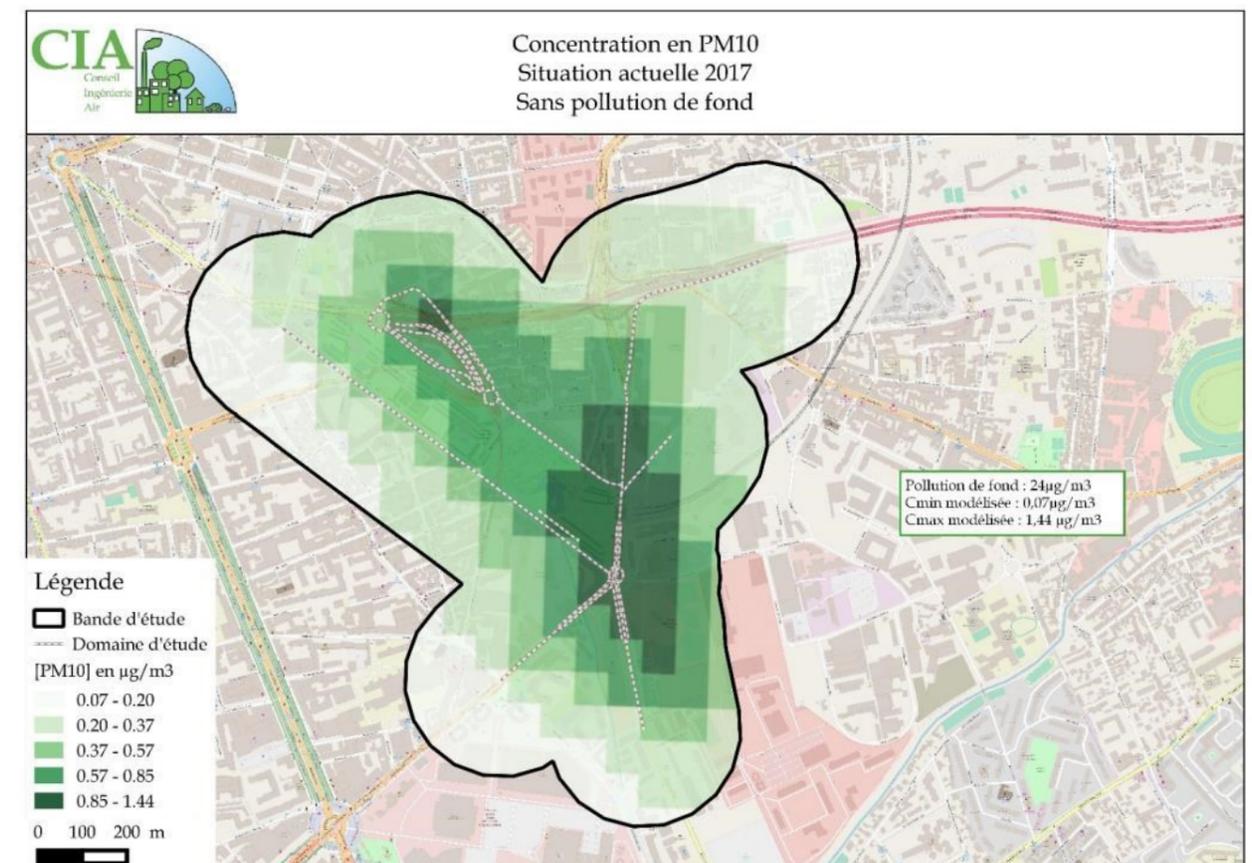
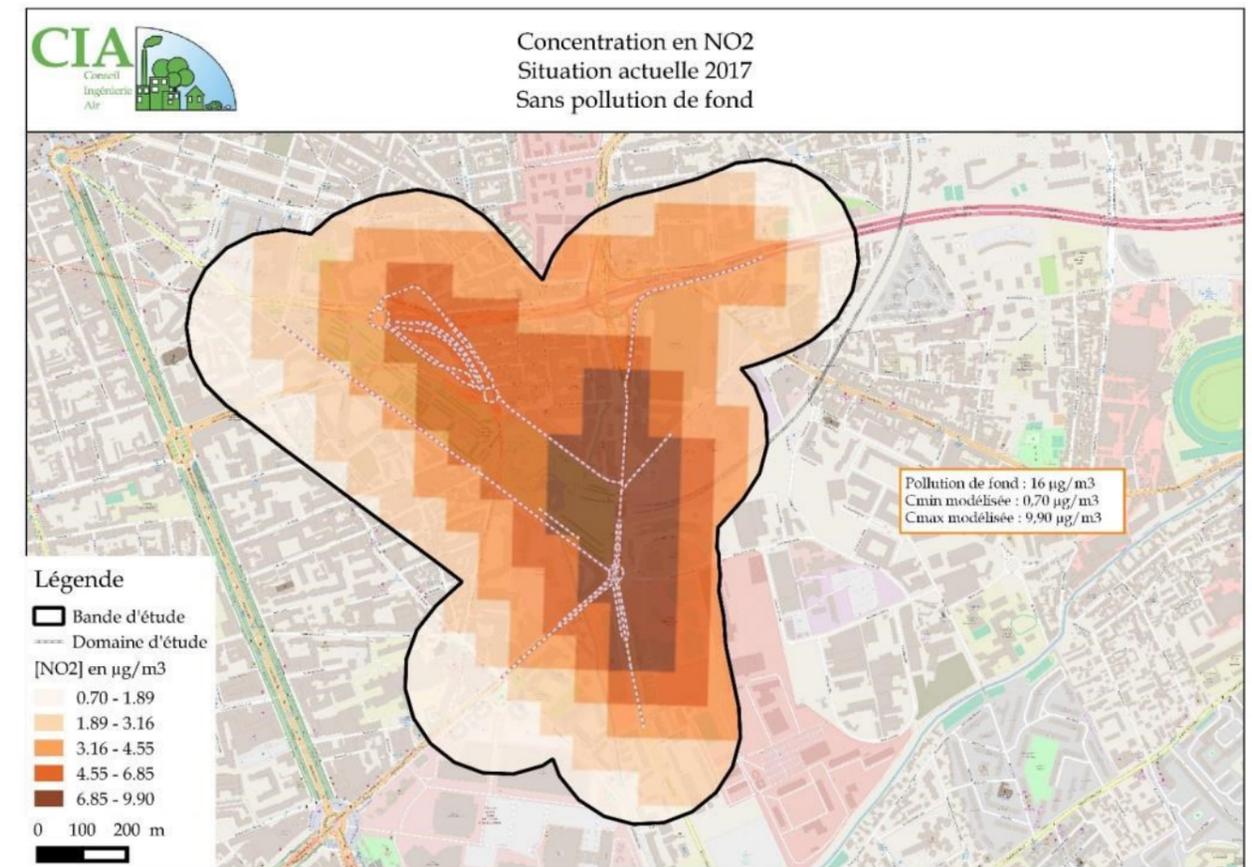
IV.3.2. Cartographie des concentrations

Pour les polluants les plus caractéristiques de la pollution automobile, les résultats de la modélisation de la dispersion, en moyenne annuelle, sont illustrés par les cartes présentées ci-après, et ce pour les scénarios suivants :

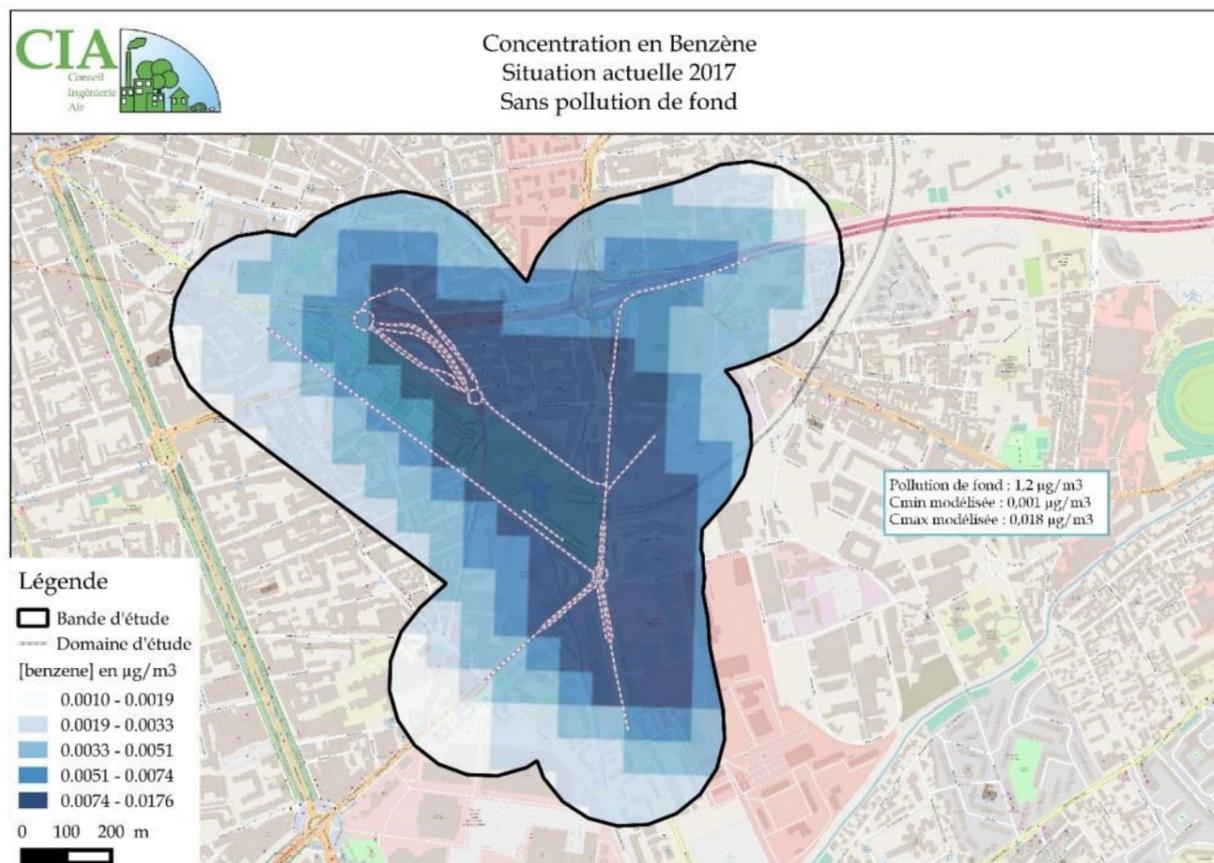
- Scénario Actuel 2017,
- Scénario Futur de référence sans projet, horizon 2042,
- Scénario Futur avec projet, horizon 2042.

Le dioxyde d'azote et le benzène sont deux polluants caractéristiques de la pollution automobile dont les concentrations en moyenne annuelle peuvent être comparées à la réglementation en vigueur. Les cartographies ont également été réalisées pour le polluant particulaire PM10.

La modélisation a été réalisée sans et avec intégration de la pollution de fond. La modélisation sans pollution de fond permet de mettre en évidence l'impact directement lié au projet. Intégrer la pollution de fond permet de relativiser quant à cet impact car cette dernière est suffisamment importante pour masquer les effets mis en évidence.



• Etat initial



• Scénario sans pollution de fond

DISPERSION DU BENZENE :

Pour les cartes de dispersion du benzène, il est important de noter que les concentrations modélisées sont très faibles pour l'ensemble des scénarios.

A l'état actuel, la concentration en benzène est diffuse sur l'ensemble de la zone d'étude et les teneurs sont beaucoup plus élevées qu'à l'état futur de référence.

Lorsque l'on compare l'état de référence avec l'état actuel, on note une nette amélioration de la qualité de l'air en générale. Ceci est dû à l'amélioration technique des véhicules mais également à une baisse de la fréquentation de la zone d'étude de par la mise en service de la L2 et du BUS.

Le scénario futur de référence met en évidence une concentration du benzène au droit du giratoire mis en place au droit de la place Ferrié et le long de Rabatau Nord. Cela est lié à l'importance du trafic au niveau de ces axes.

Le scénario futur avec projet montre, comme en référence, une concentration du benzène au niveau du giratoire de la place Ferrié. On observe également que l'ouverture du tunnel au droit du parc du 26^{ème} centenaire, entraîne une concentration plus importante dans le parc qu'à l'état de référence.

La variation de la concentration du benzène entre le scénario futur sans projet et avec projet, montre les impacts du projet, qui sont liés à l'ouverture du tunnel au niveau du parc du 26^{ème} centenaire.

DISPERSION DU DIOXYDE D'AZOTE

A l'état actuel, les concentrations de NO₂ les plus élevées se concentrent au droit de la place Ferrié, du boulevard Schloesing, chemin de l'Argile et du boulevard Rabatau Nord.

Les concentrations restent dans le même ordre de grandeur entre la situation de référence et la situation actuelle, cependant on observe une amélioration de la qualité de l'air car les concentrations les plus élevées sont moins étendues et se concentrent sur la place Ferrié et Rabatau Nord.

La situation future avec projet met en évidence une accumulation du NO₂ entre l'avenue Jules Cantini et le Chemin de l'Argile, soit au niveau du Parc du 26^{ème} centenaire. Les concentrations les plus élevées sont également situées au niveau de la place Ferrié et sur Rabatau Nord et du boulevard Schloesing.

La carte de variation des concentrations ci-après permet d'illustrer ces propos et permet également de se rendre compte de la dégradation de la qualité de l'air au droit de l'ouverture du tunnel et de l'amélioration globale sur l'ensemble de la bande d'étude.

DISPERSION DES PARTICULES FINES

Les constats sont les mêmes que pour le benzène et le NO₂, la mise en place du projet induit une augmentation des concentrations au droit du parc du 26^{ème} centenaire, en entrée et sortie des tunnels et une amélioration sur le reste de la bande d'étude.

• Scénario avec pollution de fond

DISPERSION DU BENZENE

La concentration de fond du benzène est de 1,2 µg/m³.

L'intégration de la pollution de fond permet de relativiser l'impact du projet. En intégrant la pollution de fond, les concentrations modélisées sont intrinsèquement plus élevées mais on note cependant qu'elles sont très proches de la pollution de fond initiale. La gamme de dispersion est donc peu étendue dans le cas du benzène.

Lorsque l'on observe la carte de variation de la concentration entre les situations avec et sans projet, on notera dans un premier temps que les variations sont extrêmement faibles +/- 0,1%. On notera ensuite que l'impact du projet est englobé dans la pollution de fond et que les variations ne sont pas significatives à l'échelle de la qualité de l'air ambiante.

On notera que les concentrations sont inférieures à l'objectif de qualité (2 µg/m³).

DISPERSION DU DIOXYDE D'AZOTE

La concentration de fond du dioxyde d'azote est de 16 µg/m³.

Les concentrations modélisées sont largement inférieures à l'objectif de qualité de 40 µg/m³.

En intégrant la pollution de fond on observe une amélioration de la qualité de l'air dans l'ensemble de la bande d'étude. L'impact du projet est complètement masqué par la pollution de fond, car on observe un impact de 5% maximum.

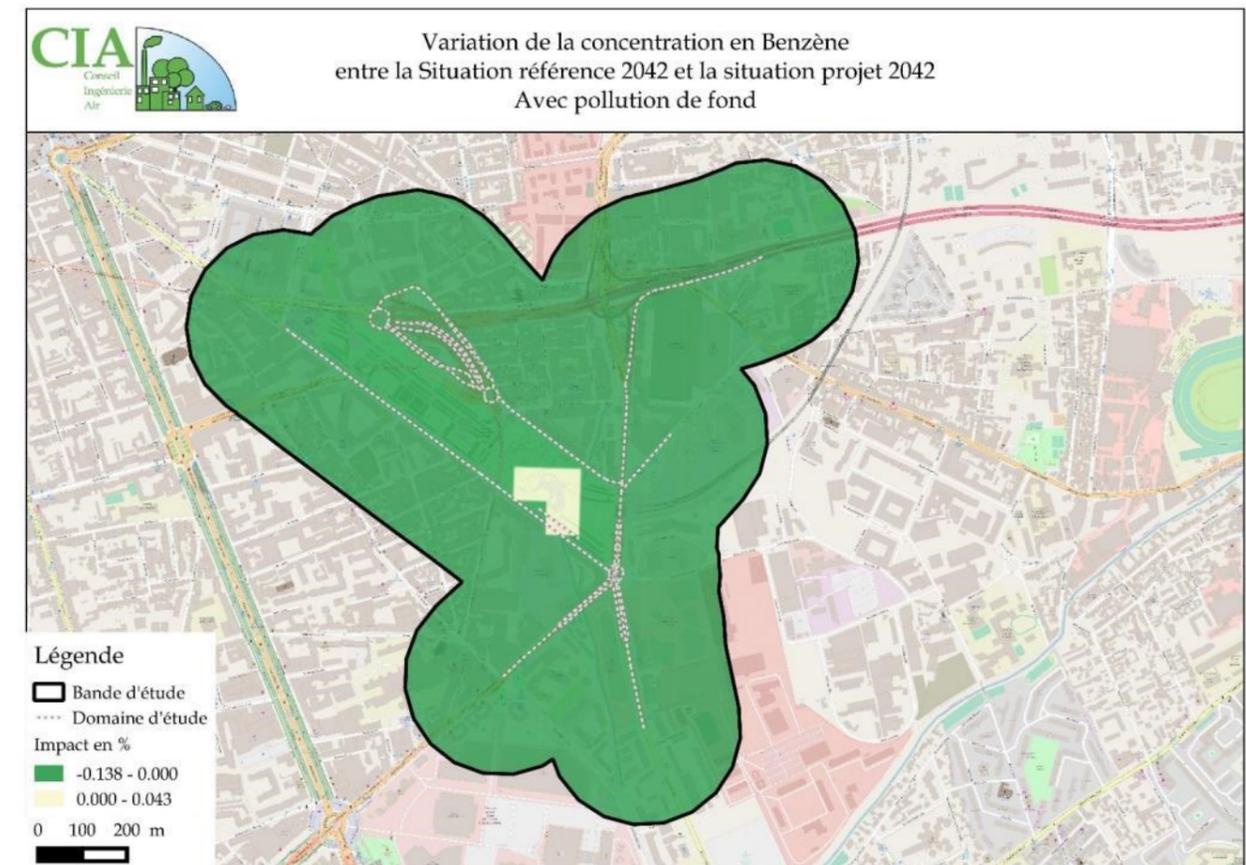
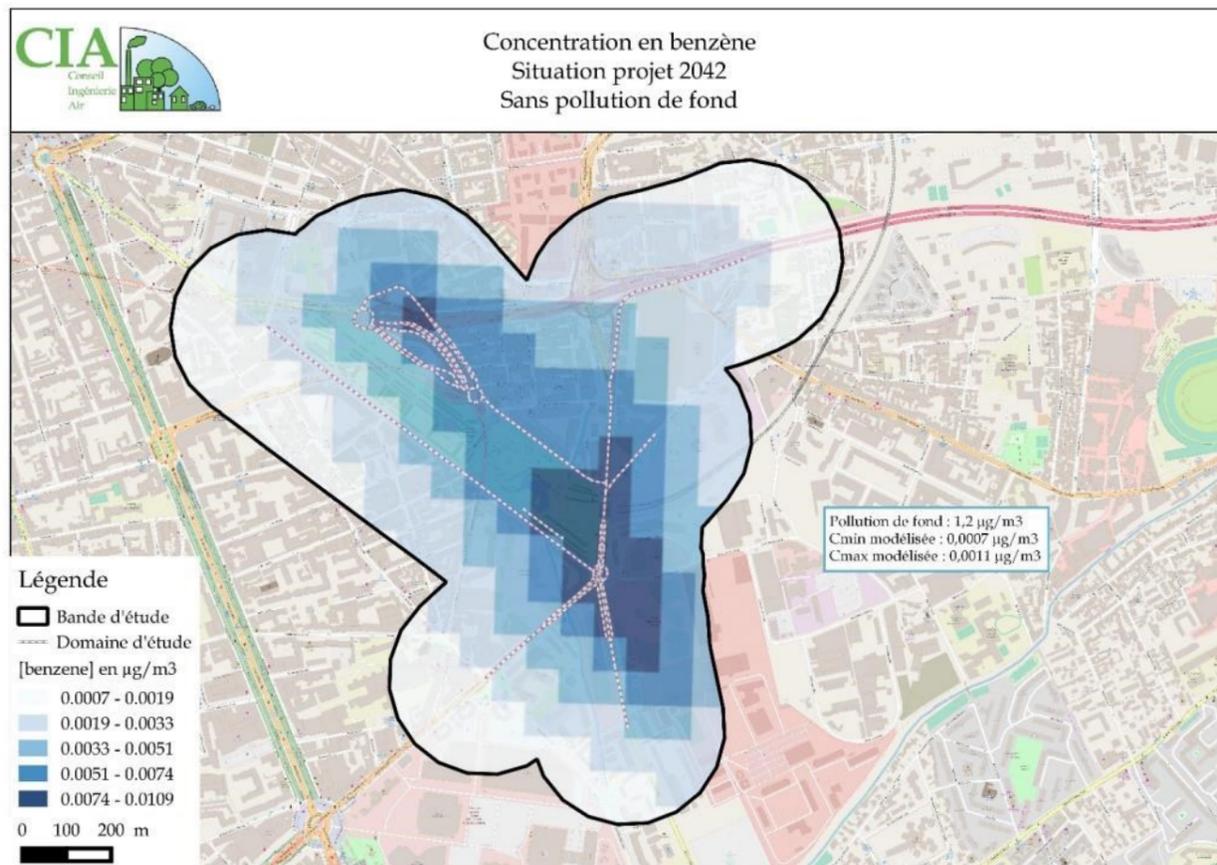
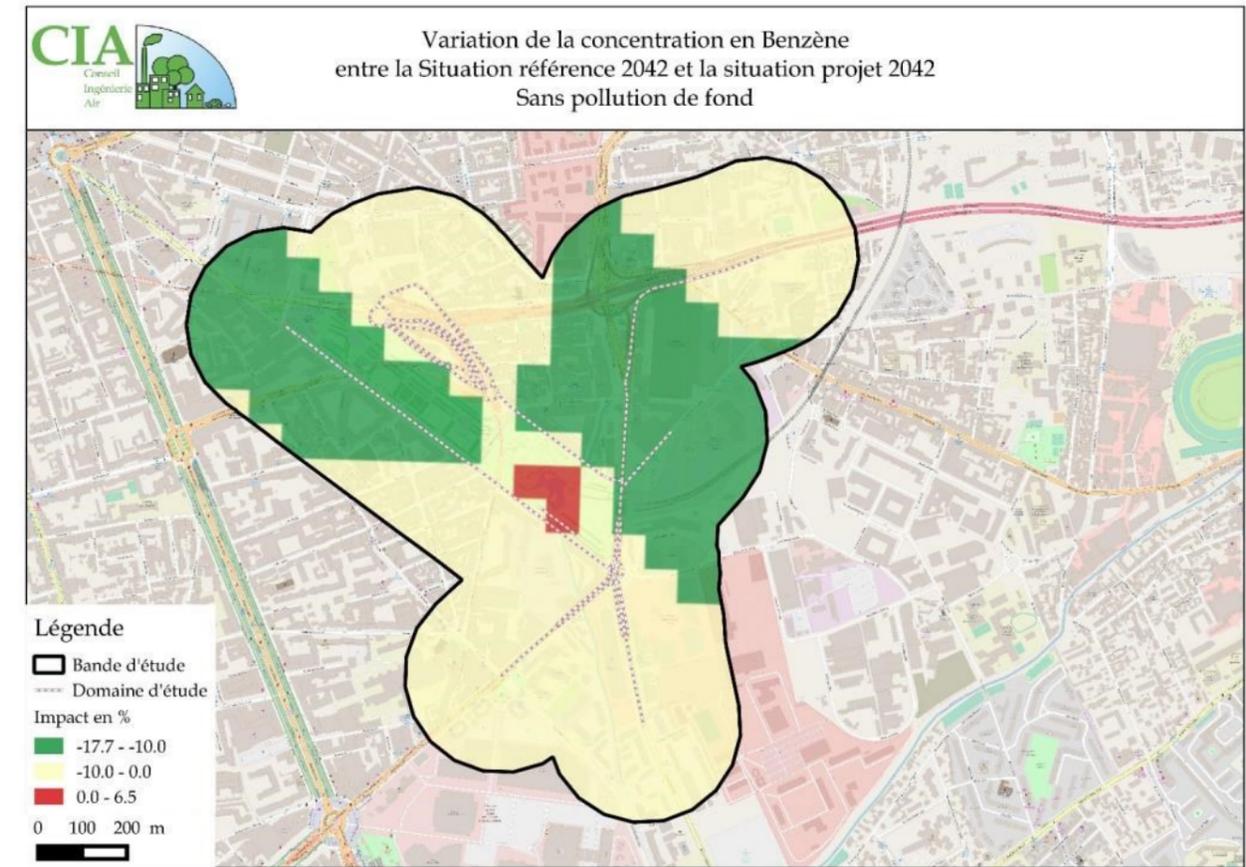
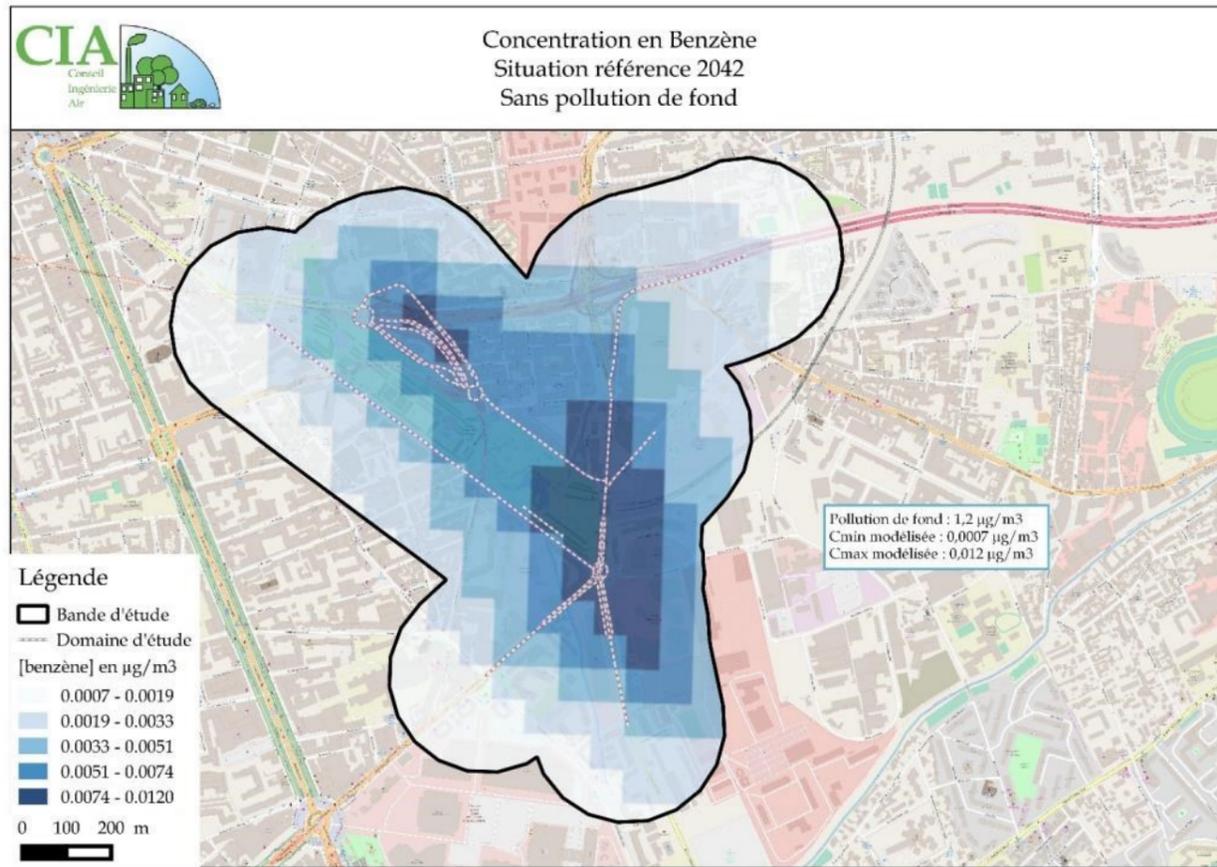
DISPERSION DES PARTICULES FINES PM10

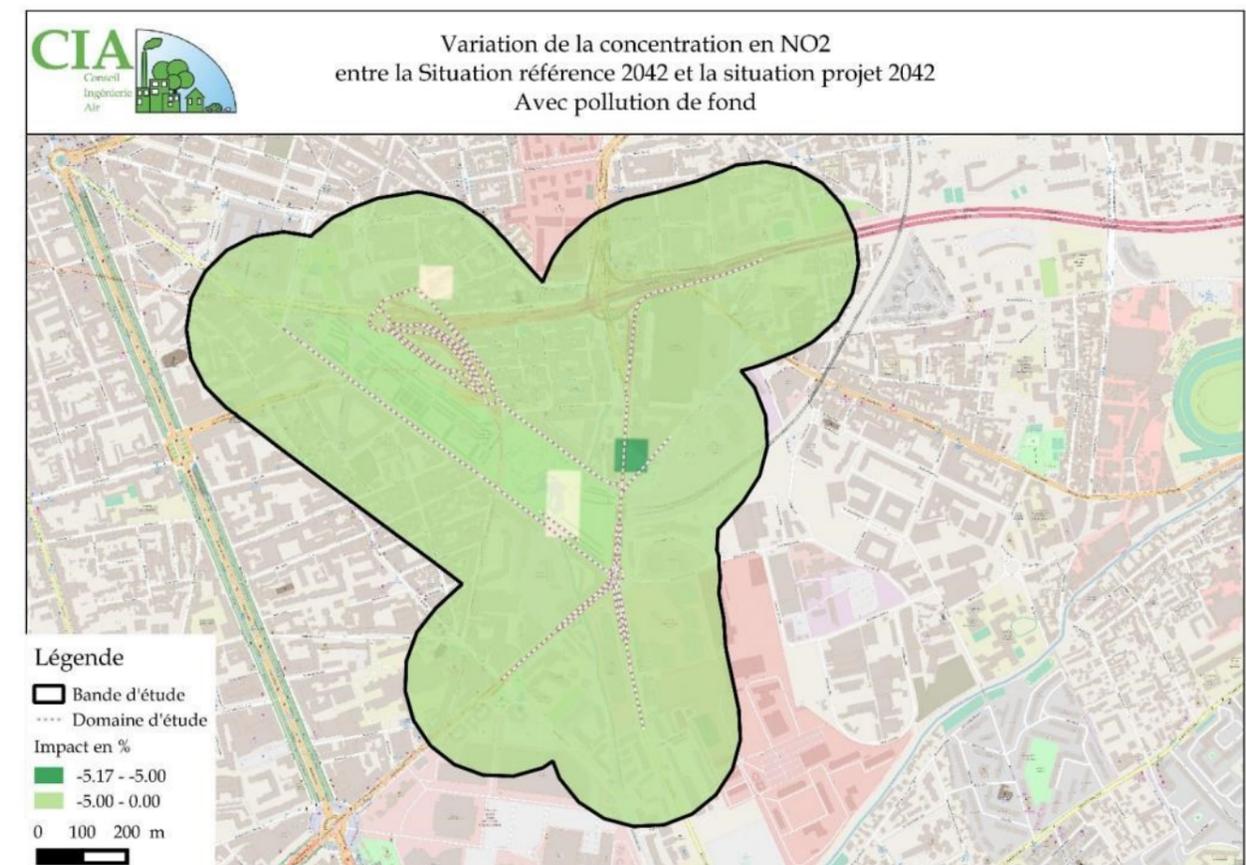
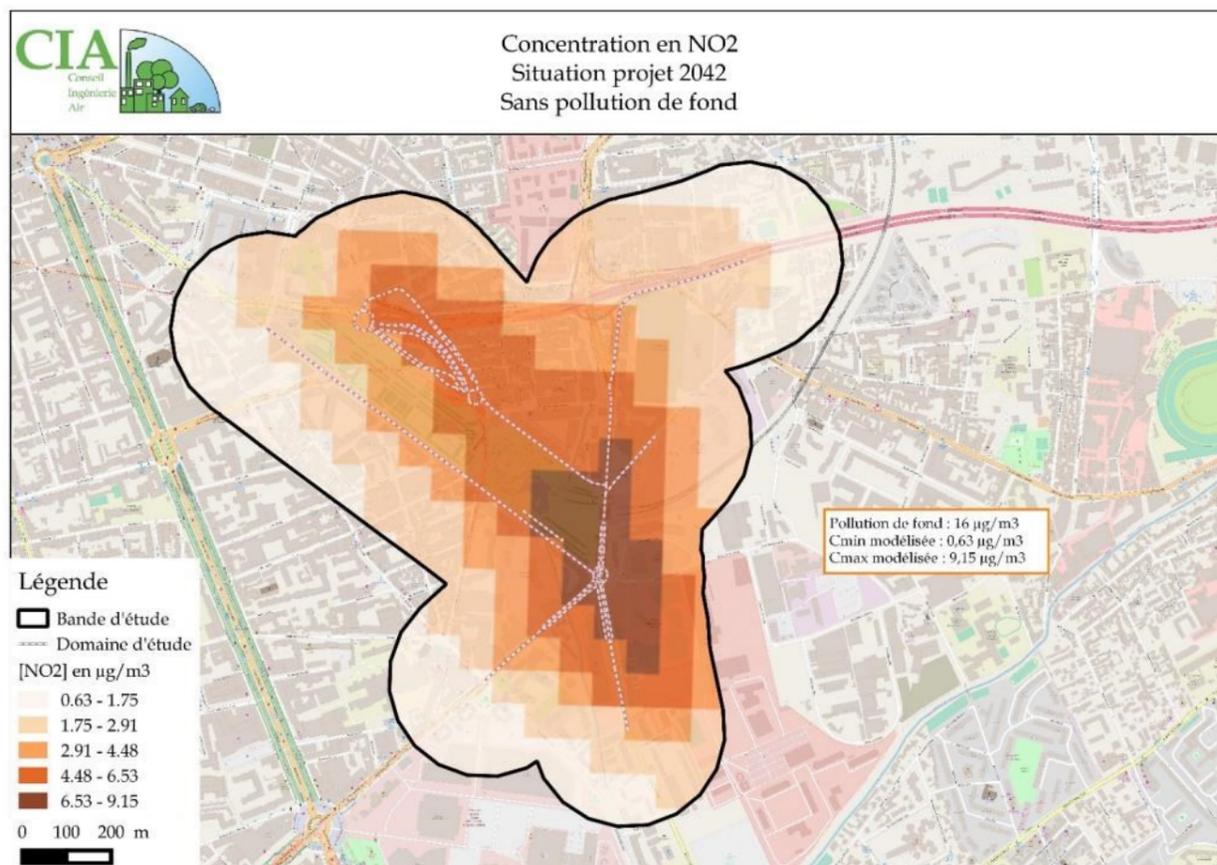
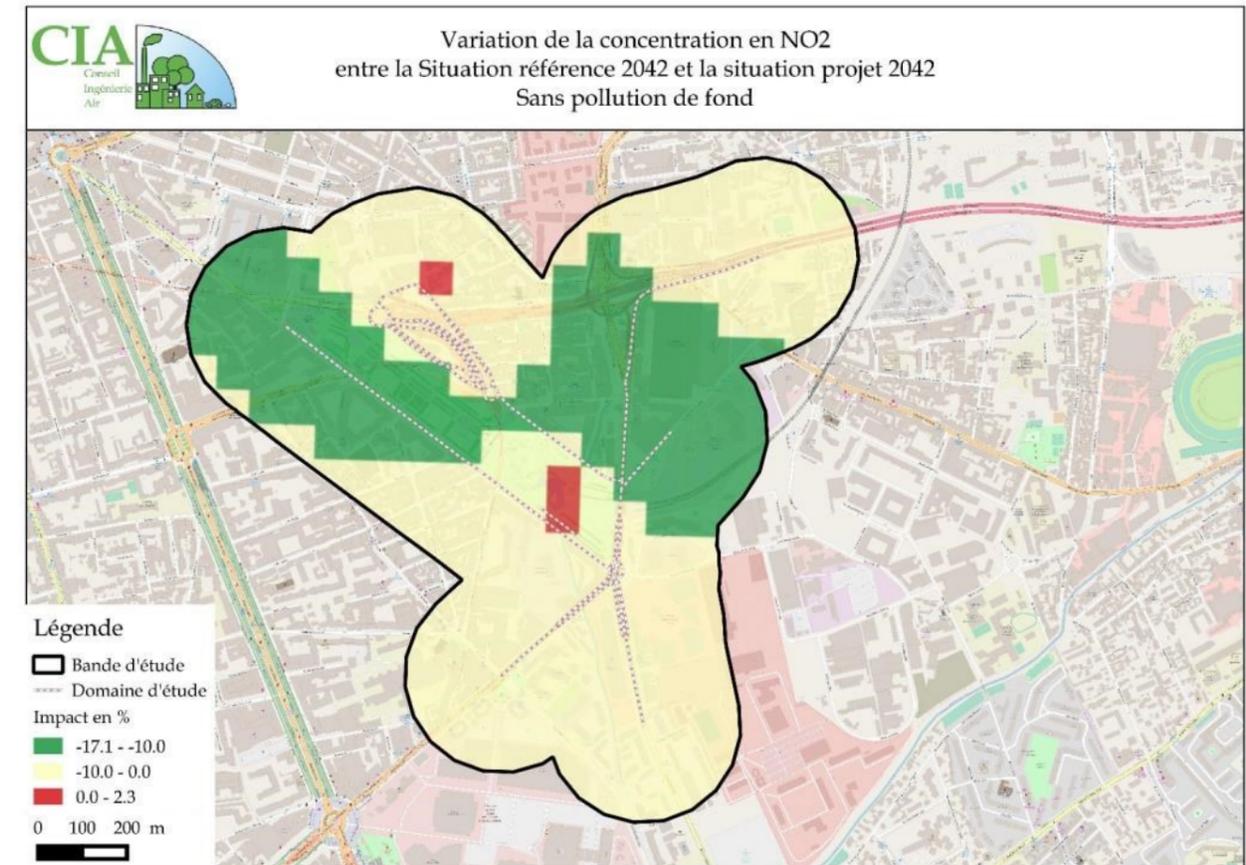
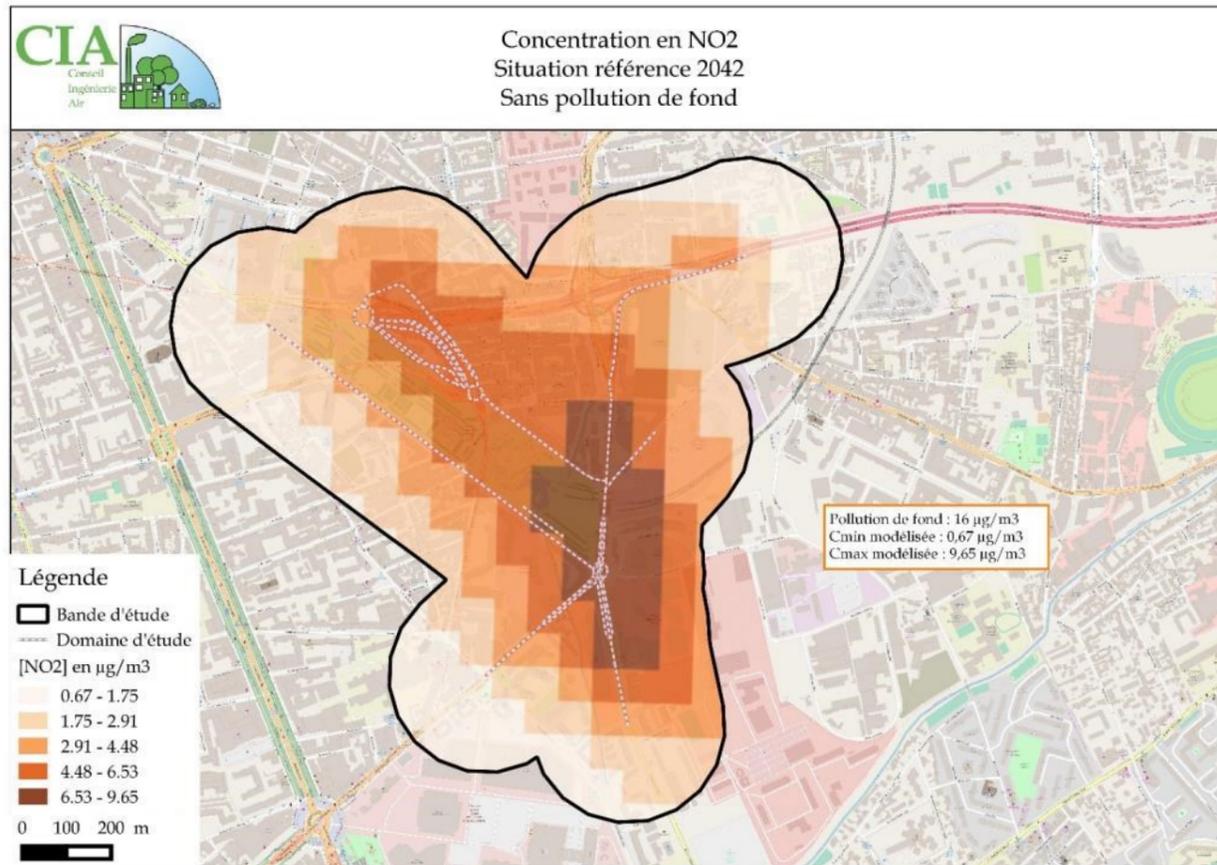
La concentration de fond des PM10 est de 24 µg/m³.

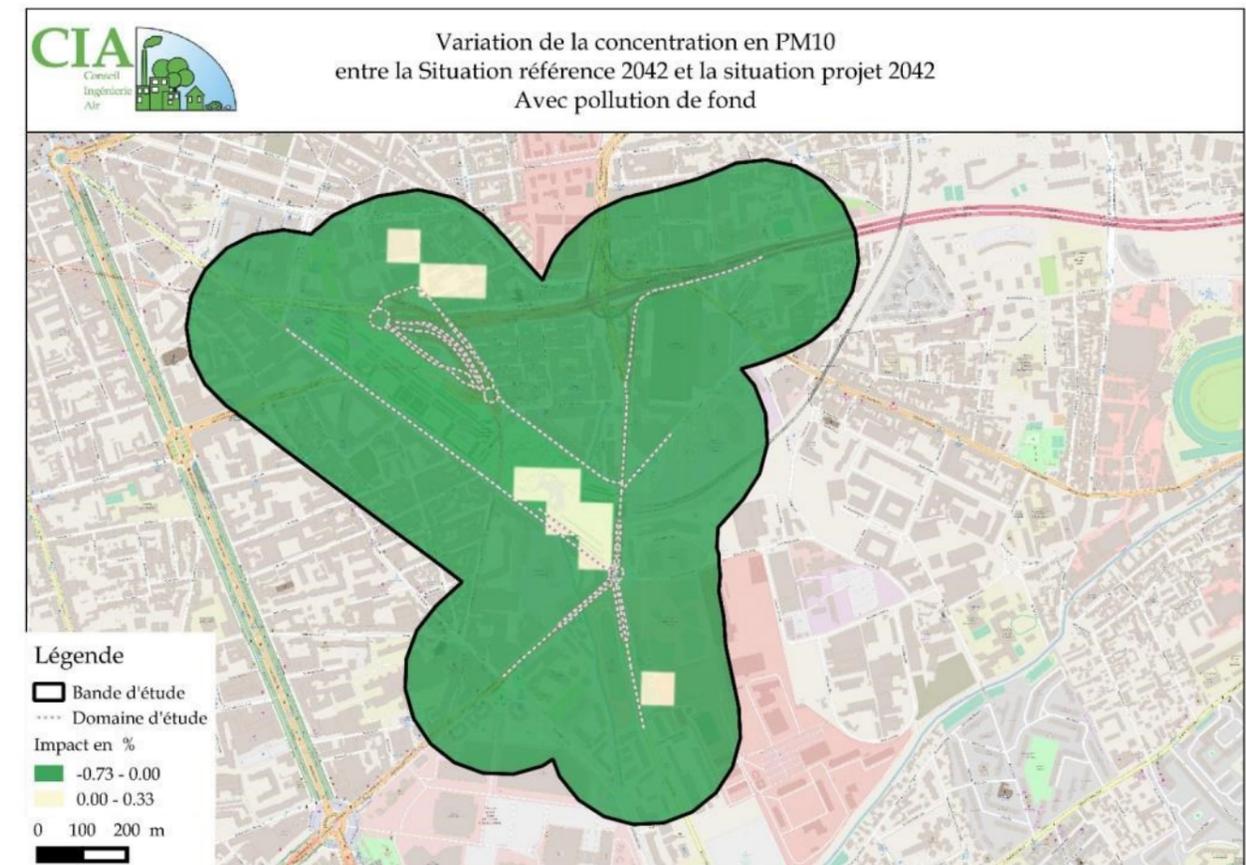
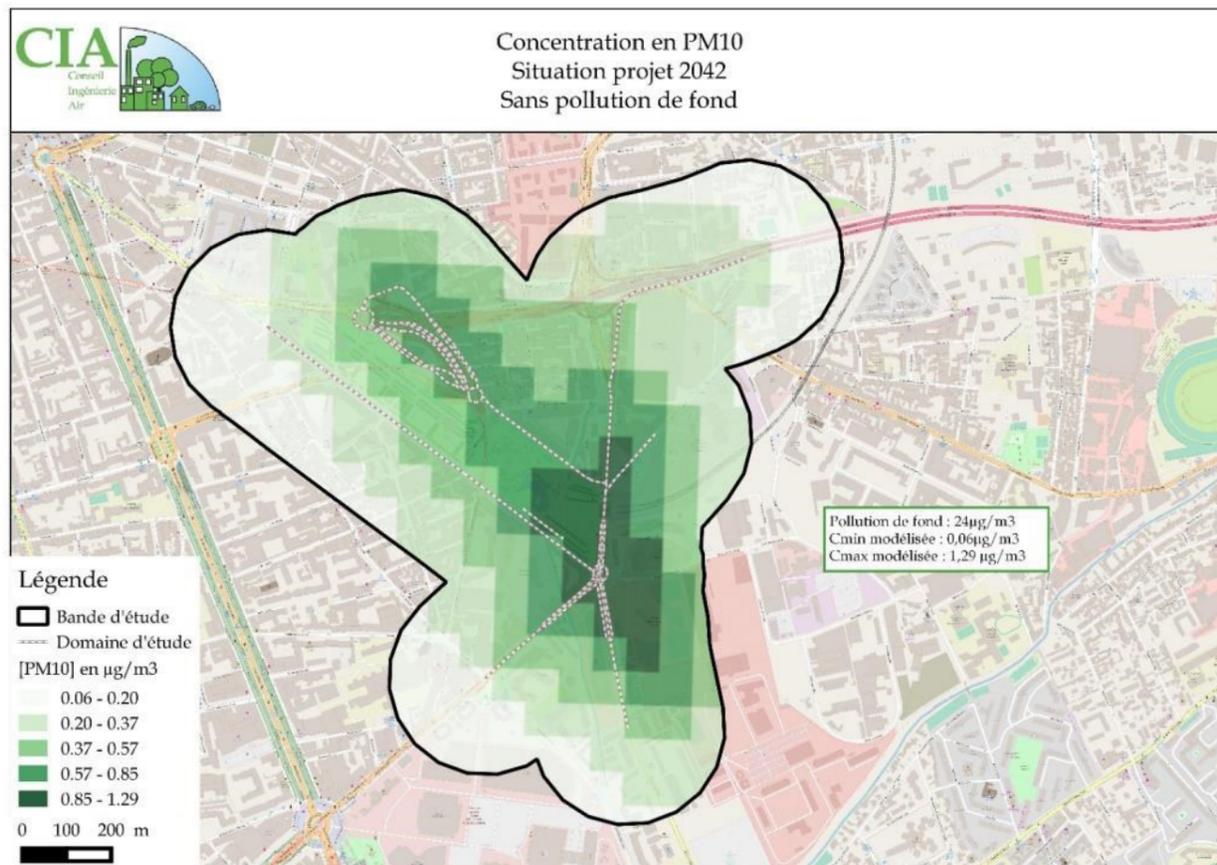
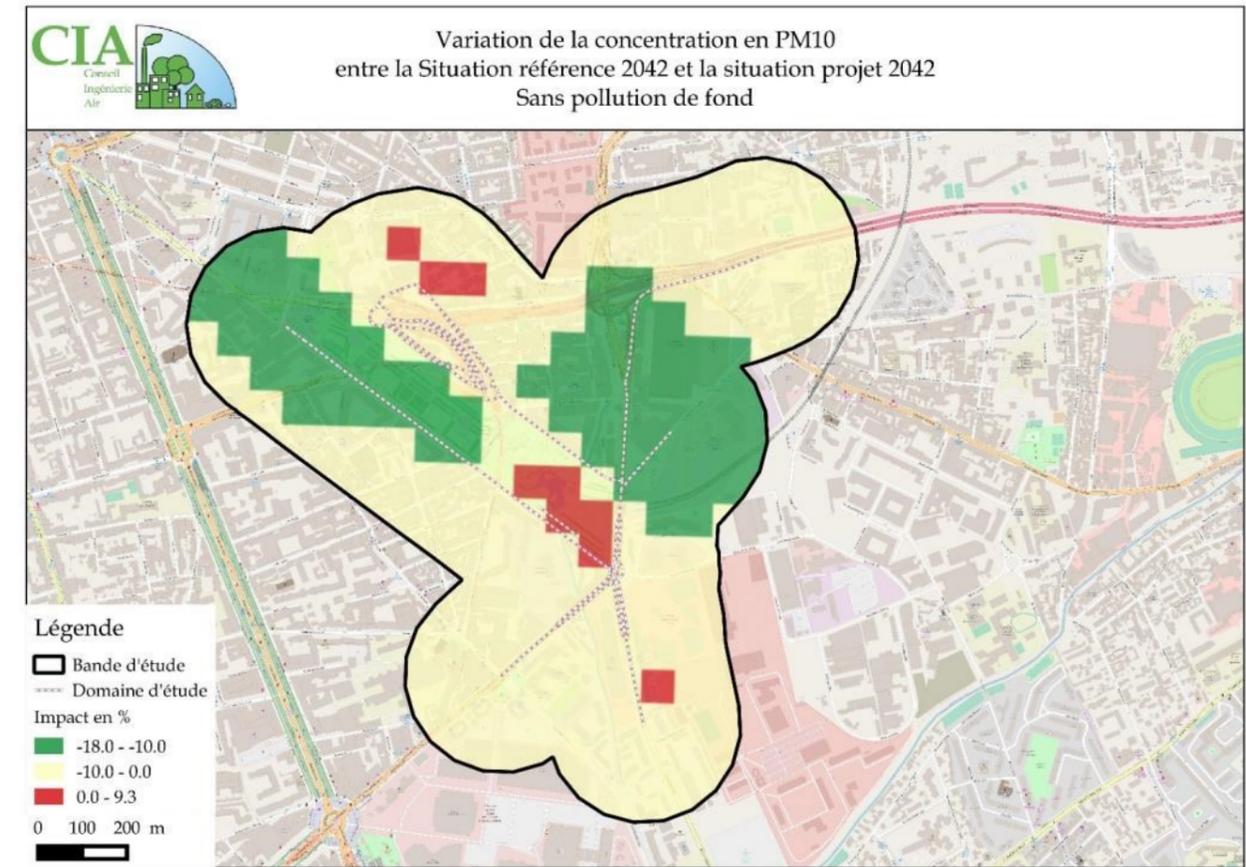
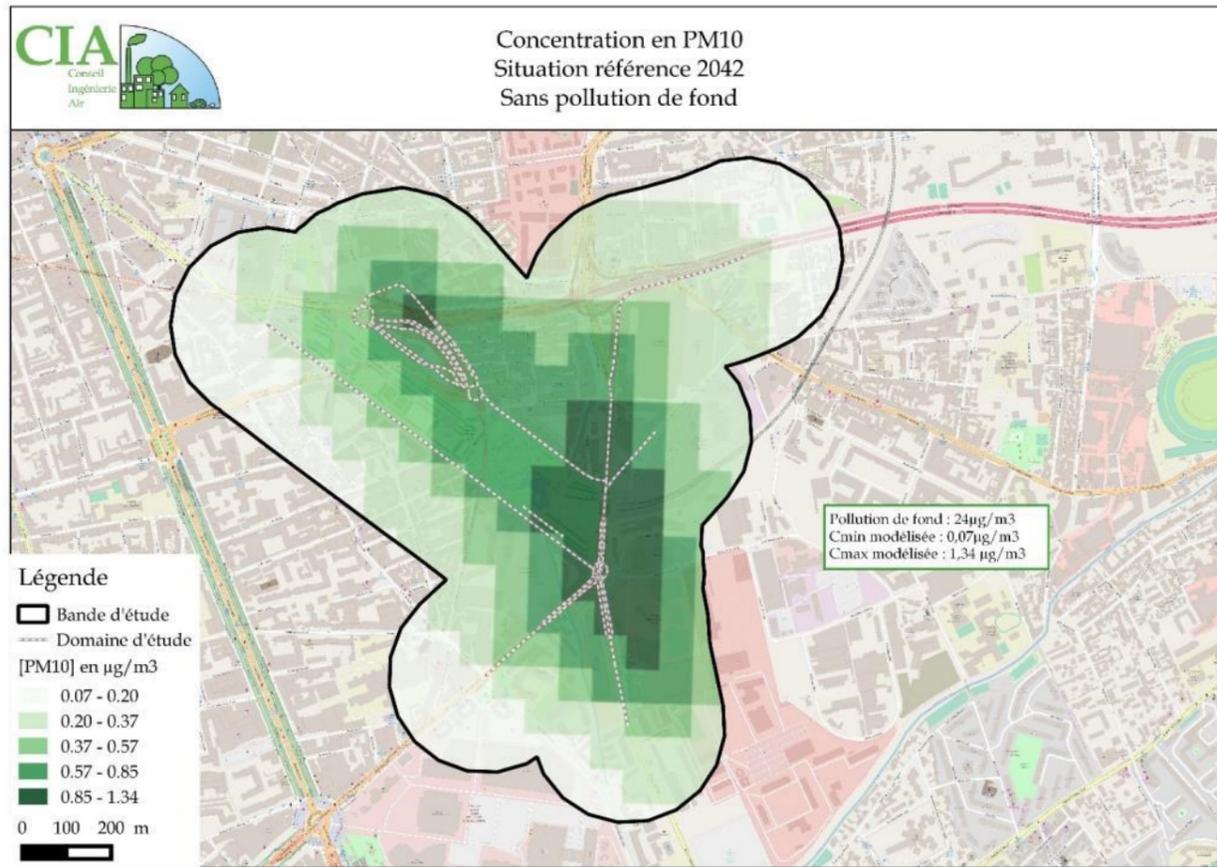
Les concentrations modélisées s'étalent entre 24 µg/m³ et 25,3 µg/m³. Les concentrations sont donc concentrées autour d'une même valeur.

L'impact du projet est masqué par la pollution de fond et les variations sont inférieures à 1%.

L'impact du projet n'est donc pas significatif au regard de la pollution ambiante. En revanche, on notera localement des dégradations de la qualité de l'air, notamment au droit du parc du 26^{ème} centenaire mais une amélioration dans l'ensemble du reste de la bande d'étude.







IV.4. Evaluation de l'impact sanitaire simplifié : l'IPP

Afin d'évaluer l'impact du projet sur la santé publique, la méthode de l'indice IPP (Indice d'exposition de la Population à la Pollution) a été appliquée. Cette méthode consiste à croiser les concentrations calculées aux données de population sur le maillage du domaine étudié.

Le calcul de l'indice IPP est réalisé pour le benzène.

IV.4.1. Objet de l'IPP

L'indicateur IPP permet la comparaison entre le scénario avec projet et l'état de référence par un critère basé non seulement sur les émissions mais aussi sur la répartition spatiale de la population demeurant à proximité des voies de circulation.

Cet outil est utilisé comme une aide à la comparaison de situations et en aucun cas comme le reflet d'une exposition absolue de la population à la pollution atmosphérique globale.

Jusqu'en 2005, les polluants traceurs de la pollution utilisés dans le calcul de l'IPP étaient les oxydes d'azote (NOx). Depuis 2005, c'est le benzène qui est désormais retenu pour son caractère prioritaire établi par le Plan National Santé Environnement. Le benzène est classé par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) parmi les « cancérogènes pour l'homme ». Sa toxicité hématologique par atteinte de la moelle osseuse est reconnue.

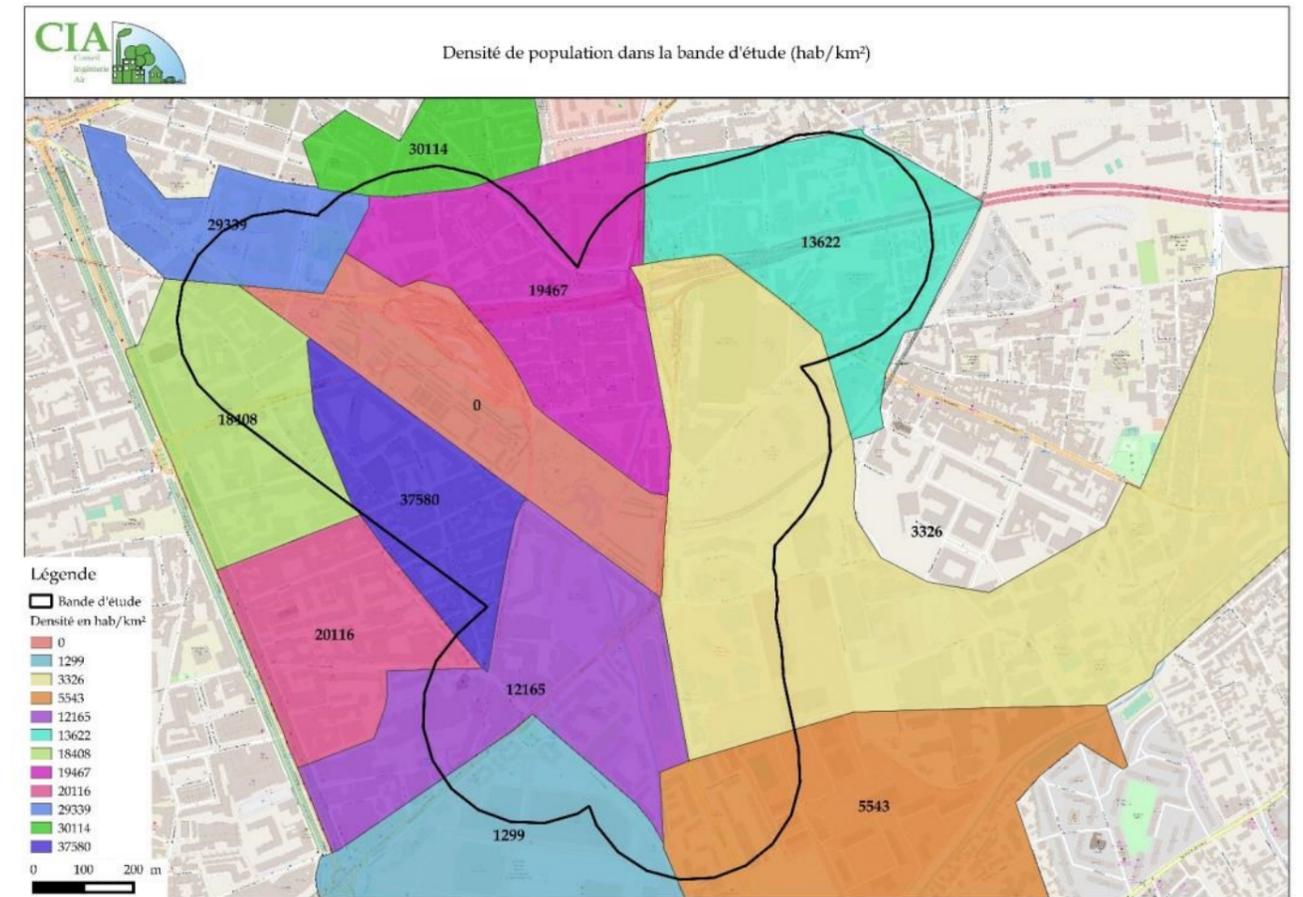
Dans le cadre de la présente étude, l'IPP sera calculé à partir du benzène conformément au guide méthodologique de février 2005.

IV.4.2. Estimation de la population

La commune de Marseille est découpée en plusieurs IRIS selon la base INSEE. L'IRIS est un découpage à l'échelle d'un quartier. Il s'agit d'un maillage plus fin en termes de recensement de population fourni par l'INSEE, de puis la nouvelle méthode de réactualisation annuelle du recensement de la population mis en place en 2006, par l'INSEE.

La densité de population a été calculée pour chaque IRIS touchant la zone d'étude en fonction de la surface de chaque quartier et de la population totale indiquée par l'INSEE.

Chaque zonage est ensuite décomposé en maille de 75m de côté maillage issu de la modélisation de la dispersion) de densité moyenne annuelle issues des modélisations précédentes.



IV.4.3. Résultat de l'IPP global

Pour calculer l'IPP cumulé sur le domaine d'étude, l'ensemble des IPP par maille ont été additionnés. Le résultat fournit une indication sur l'état sanitaire global sur le domaine d'étude et permet de voir l'évolution de la situation attendue entre 2017 et 2042 sans projet et avec la mise en place du tunnel de Schloësing.

TABLEAU 6 : IPP BENZÈNE CUMULÉ

Etat Actuel 2017	Etat Référence 2042	Variation « Fil de l'eau »	Etat Projet 2042	Impact du projet
116,6	78,4	-33 %	71,4	-9%

Les émissions en benzène étant en diminution pour le scénario au fil de l'eau, on constate que l'évolution de l'IPP diminue de 33% entre 2017 et 2042 sans projet.

A l'horizon 2042, l'IPP cumulé diminue de 9% entre la situation de référence et la situation avec projet. Cette diminution résulte directement de la diminution du trafic sur certains brins routiers.

IV.4.4. Histogramme Pollution-Population

L'histogramme pollution-population rend compte de l'exposition de la population aux différentes concentrations en benzène, en moyenne annuelle et selon les trois scénarios « Actuel 2017 », « Sans projet 2042 » et « Avec Projet 2042 ».

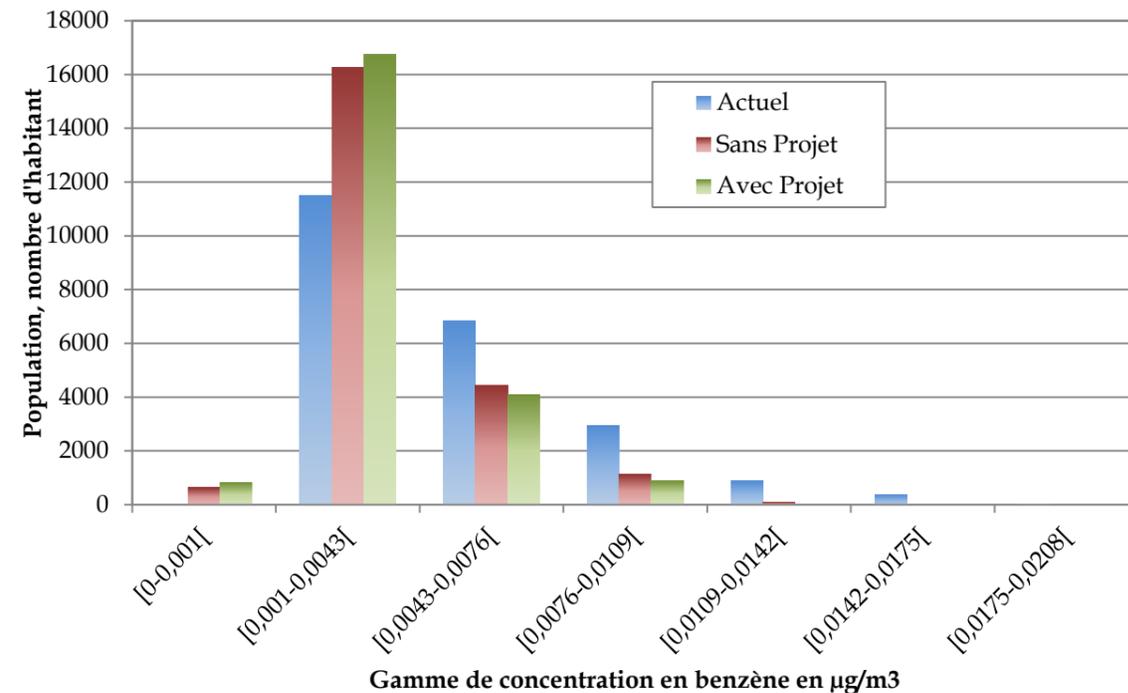


FIGURE 17 : HISTOGRAMME POLLUTION-POPULATION

On observe une nette amélioration de l'exposition de la population aux concentrations en benzène les plus faibles, entre le scénario actuel et le scénario sans projet. Cela s'explique par l'amélioration technique des véhicules qui entraîne une baisse significative des émissions en benzène et dans une moindre mesure de la baisse de fréquentation de la zone d'étude suite à la mise en service du BUS et de la L2.

Entre la situation sans projet 2042 et la situation avec projet 2042, on n'observe pas de différence notable et majeure.

Il est à rappeler que l'ensemble de ces concentrations correspond uniquement à la pollution d'origine routière et n'est pas significative de la pollution ambiante.

Seule l'analyse géographique des IPP peut fournir la localisation précise des zones où l'IPP augmente et celles où il diminue.

IV.4.5. Cartographie des résultats

Les cartes suivantes présentent les résultats du calcul de l'IPP par maille pour les scénarios suivants :

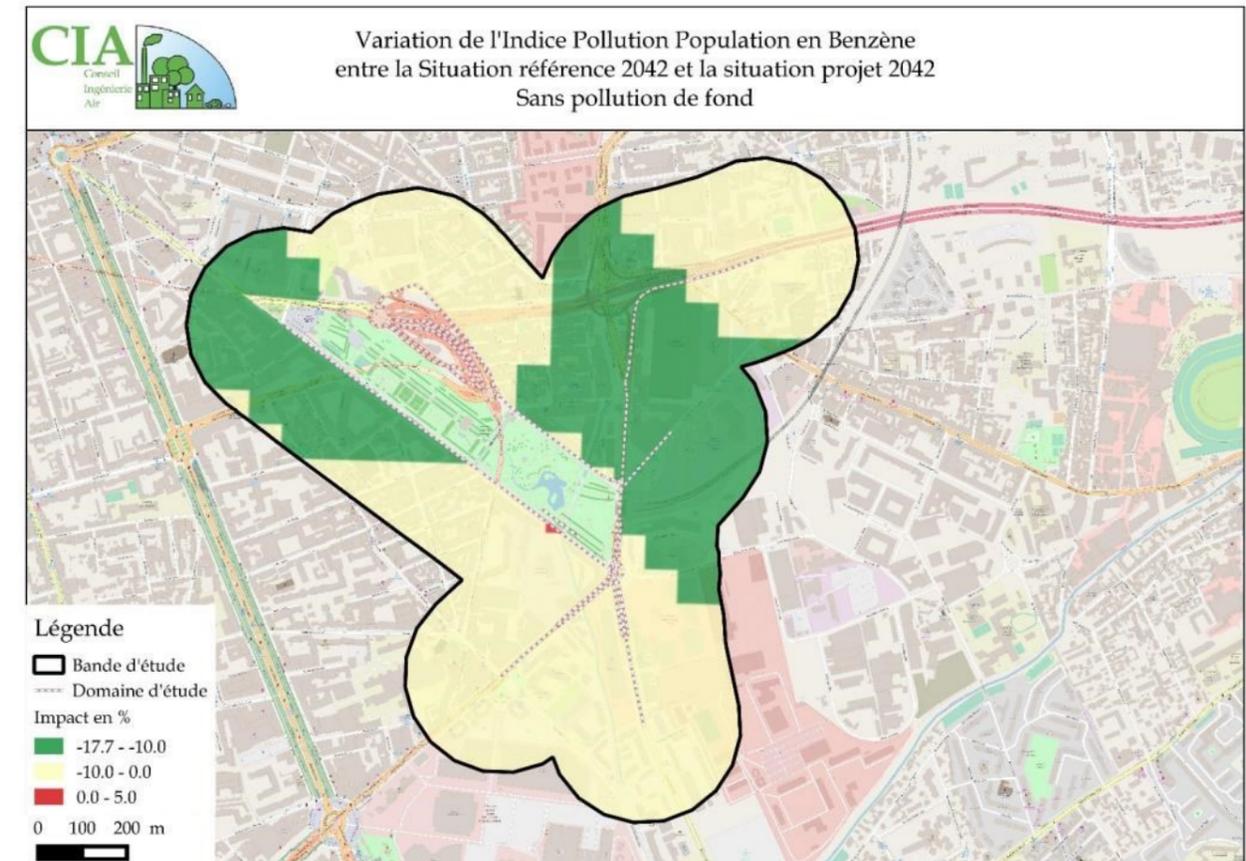
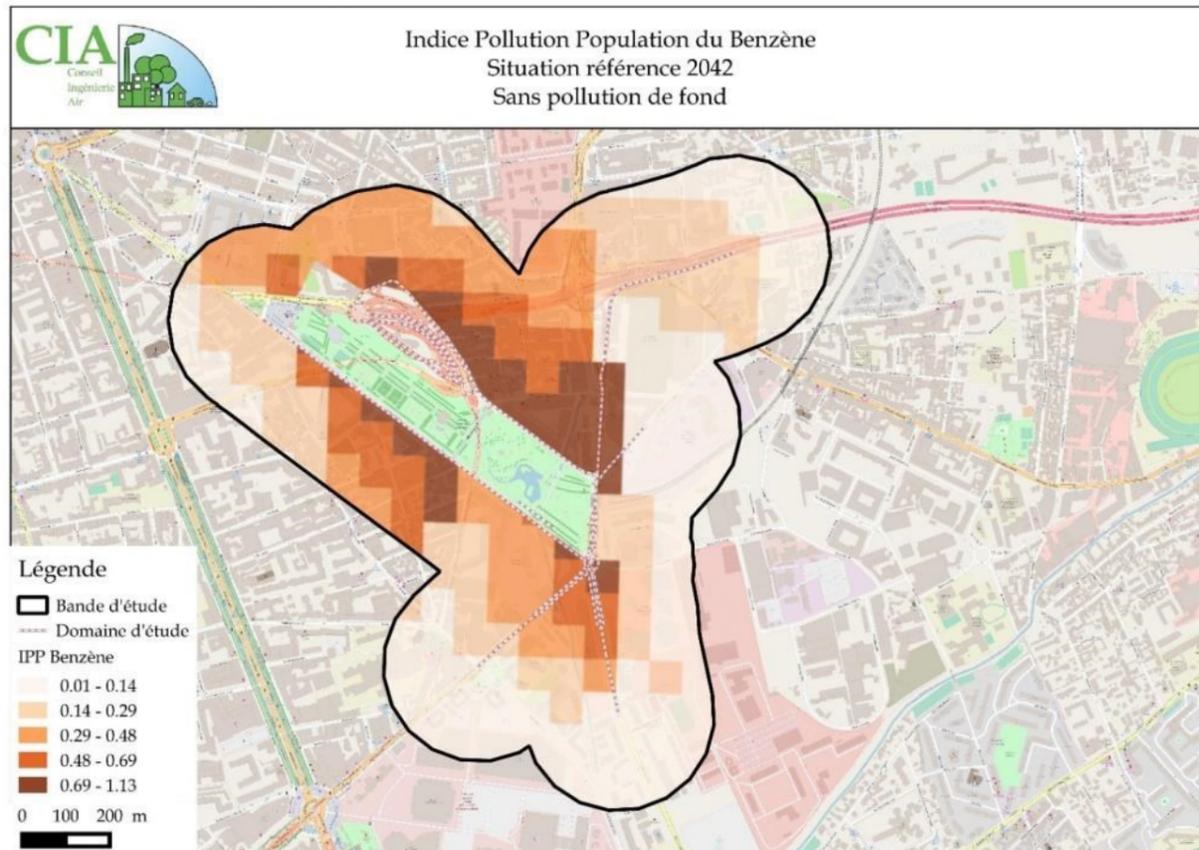
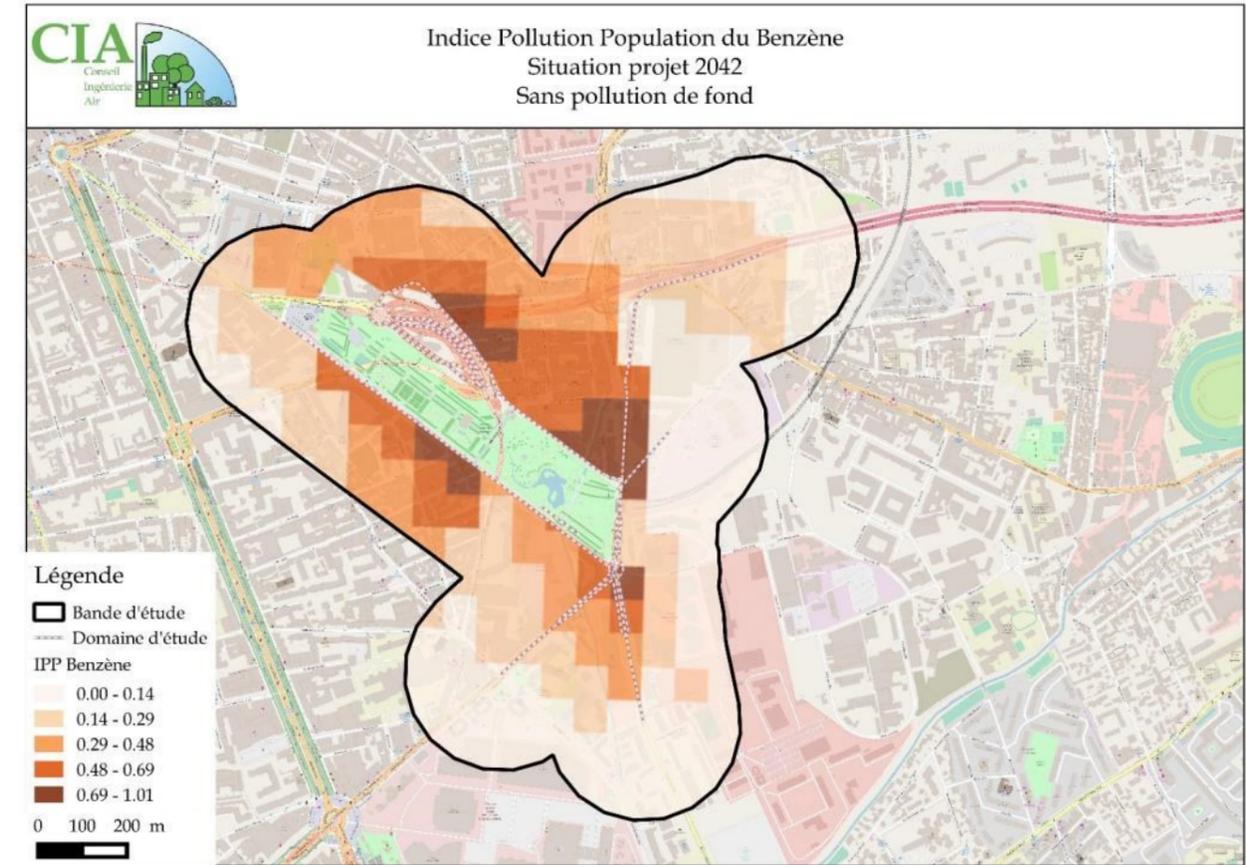
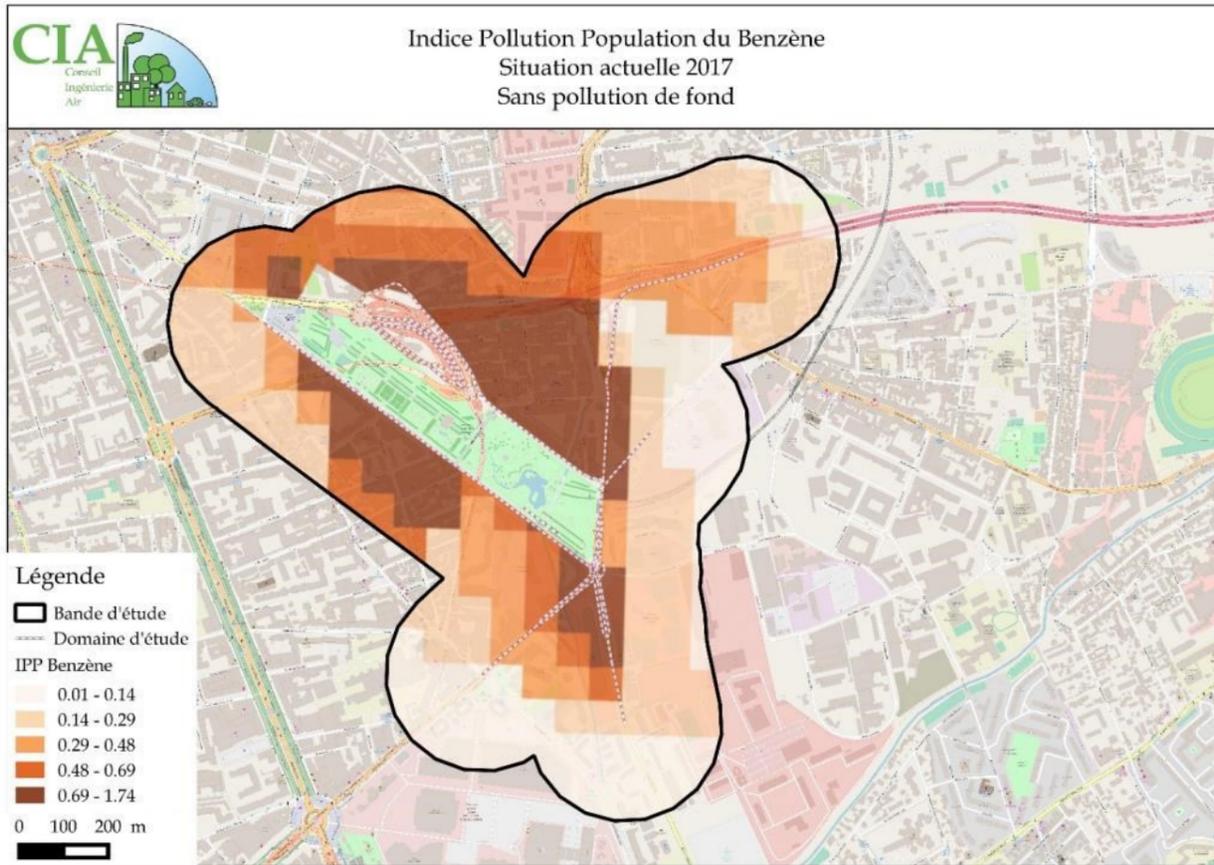
- Actuel 2017,
- Référence 2042,
- Avec projet 2042.

D'après les cartes ci-après, les quartiers les plus sensibles actuellement (représentés par les plus forts IPP) sont le quartier situé au Nord du chemin de l'Argile ainsi que les habitations situées le long du boulevard Rabatau Nord, Schloësing et Jules Cantini.

A l'horizon 2042 sans projet, une nette amélioration de l'IPP est visible sur l'ensemble de ces quartiers.

Si l'on regarde la carte de variation de l'IPP entre les situations avec et sans projet, on constate que le projet induit une amélioration pour l'ensemble des personnes situées dans la bande d'étude mais on note une dégradation locale au droit de l'ouverture du tunnel au niveau du parc du 26^{ème} centenaire.

Rappelons que les concentrations modélisées ne tiennent pas compte de la pollution de fond.



V. EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES

Conformément à la circulaire du 25 février 2005, une évaluation quantitative des risques sanitaires a été réalisée sur la zone d'étude.

V.1. Description des enjeux sanitaires sur la zone d'étude et voies d'exposition à étudier

Au préalable, il est nécessaire de définir les enjeux sanitaires propres à la zone d'étude. Dans le cadre d'une étude de niveau I, l'ensemble de la bande d'étude a fait l'objet d'une évaluation des risques sanitaires. Le schéma global d'exposition permet de mieux appréhender la problématique d'exposition de la population, et notamment d'appréhender les voies d'exposition potentielles de la population à la pollution atmosphérique.

Outre l'exposition directe de la population par l'inhalation, on note que les transferts des polluants dans les autres compartiments environnementaux que sont l'eau, les sols et la végétation constituent autant de voies d'exposition indirectes supplémentaires pour la population, notamment à travers son alimentation. Toutefois en raison du caractère très urbanisé de la zone d'étude de l'absence d'agriculture ou tout autre parcelle susceptible de produire des denrées, l'exposition des individus aux polluants par la voie ingestion a été jugée non pertinente et n'a pas fait l'objet d'une étude en plus de la voie inhalation.

L'absorption cutanée des polluants rejetés par les véhicules automobiles n'est pas retenue comme voie d'exposition à étudier dans la circulaire du 25 février 2005. En effet le transfert par ce biais est d'une part négligeable compte tenu de la surface de contact de la peau par rapport à celle des poumons et d'autre part, l'absence de VTR ne permet pas la construction d'un scénario dose/réponse.

V.2. Identification des dangers par inhalation et choix des valeurs toxicologiques de références (Etape 1 et 2)

V.2.1. Définition : toxicité, exposition et effet

Les substances chimiques sont susceptibles de provoquer différents types d'effet, en fonction de la durée d'exposition des cibles à ces substances et/ou des voies d'exposition :

- la **toxicité aiguë** d'une substance chimique correspond aux effets d'une exposition de courte durée à une dose (concentration) forte, généralement unique,
- la **toxicité chronique** correspond aux effets d'une administration réitérée à long terme et à faibles doses. Ces doses sont insuffisantes pour provoquer un effet immédiat, mais la répétition de leur absorption sur une longue période de temps a des effets délétères.

L'évaluation des dangers des substances chimiques (ou identification des dangers consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme. Ces effets peuvent être de différents types : systémiques généraux, cancérigènes,

mutagènes ou reprotoxiques. Cette évaluation peut mettre en évidence le fait que plusieurs substances considérées ont des effets communs sur le même organe cible, induits par le même mécanisme d'action. Dans ce cas, lors de la quantification du risque, le cumul des effets doit être envisagé. Aussi, dans le cadre des évaluations des risques, on distingue deux classes de substances :

- les substances "**à effets à seuil de dose**" qui provoquent, au-delà d'une certaine dose absorbée, des dommages dont la gravité augmente avec cette dose. Ce sont les substances non cancérigènes ou cancérigènes non génotoxiques. Ces substances agissent proportionnellement à la dose reçue.
- les substances "**à effets sans seuil de dose**" pour lesquelles l'effet apparaît quelle que soit la dose absorbée avec une probabilité de survenue augmentant avec cette dose. Ce sont les substances cancérigènes génotoxiques.

Ainsi, on traitera :

- l'exposition aiguë,
- l'exposition chronique par inhalation de polluants non cancérigènes,
- l'exposition chronique par inhalation de polluants cancérigènes.

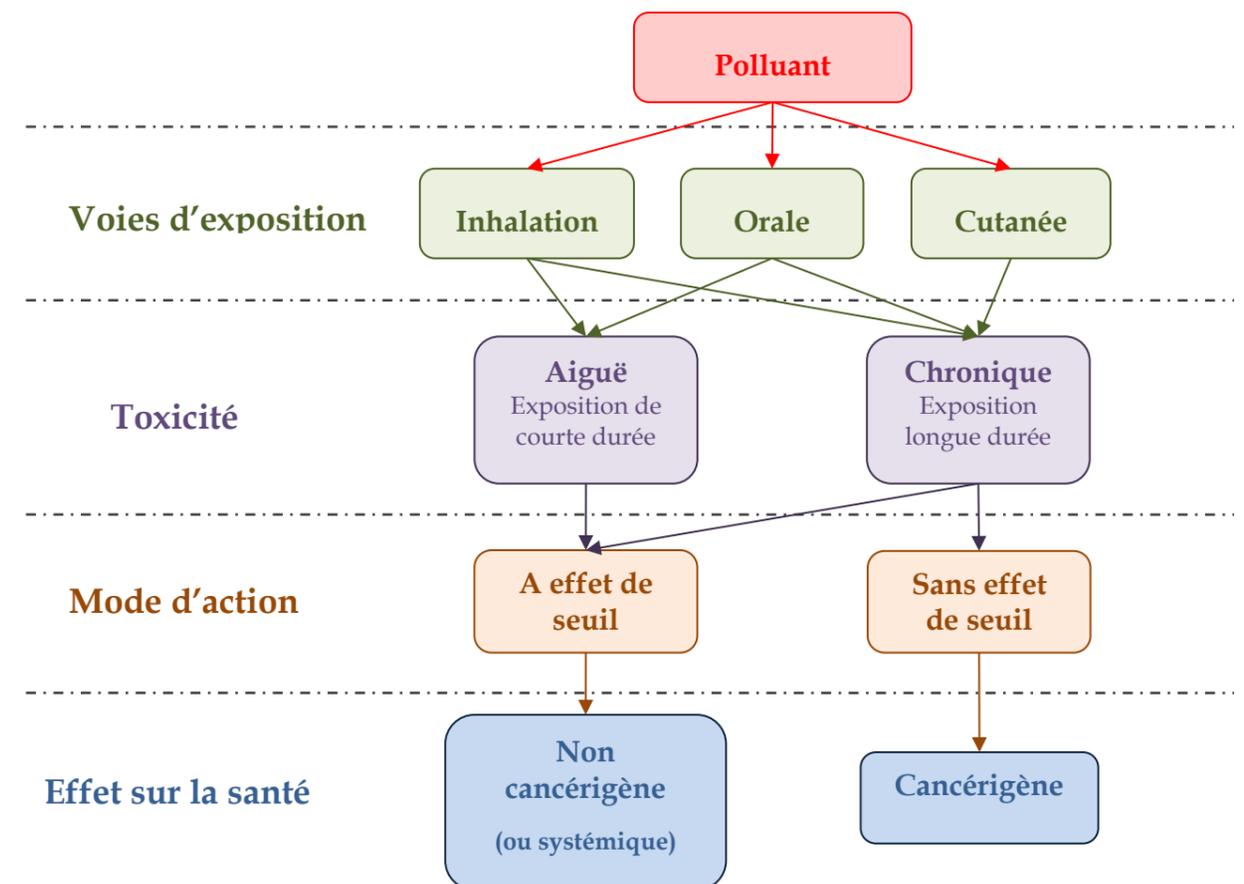


FIGURE 18 : ÉVALUATION DU DANGER D'UN POLLUANT

V.2.1.1. Substance à risque aigu

Une substance à risque aigu a un impact sur la santé au-delà d'une certaine dose à court terme. Les effets sont souvent temporaires à moins qu'ils n'aient entraînés des effets irréversibles. Il n'est pas possible pour ce risque de définir une période d'exposition (très variable en fonction des polluants), il est choisi de comparer les valeurs toxicologiques de référence au centile 100 des teneurs modélisées. Cette valeur correspond à la valeur maximale pouvant apparaître sur le site étudié dans des conditions de dispersion défavorable.

V.2.1.2. Substance à effet non cancérigène

Une substance à effet non cancérigène (ou systémique) agit proportionnellement à la dose reçue. Ses effets sont généralement réversibles et une diminution de sa concentration dans l'organisme entraîne la disparition des symptômes. En dessous d'une certaine dose limite, appelée seuil de dose, la substance est jugée sans risque notoire pour la santé. Concernant les risques par inhalation, ce seuil de dose est appelé Concentration Admissible dans l'Air et s'exprime en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

V.2.1.3. Substances à effet cancérigène

A l'inverse, une substance à effet cancérigène est susceptible d'entraîner des tumeurs malignes dégénérant en cancer dès l'absorption par l'organisme d'une molécule de cette substance (effets sans seuil). Les effets cancérigènes ne sont pas réversibles et les risques s'expriment en probabilité de survenue d'un cancer sachant que le risque n'est jamais nul. Toutefois, en dessous d'une probabilité de survenue d'un cancer de 10^{-5} , soit 1 cas sur 100 000, les risques peuvent être considérés comme acceptables. Cette probabilité de 10^{-5} est souvent admise comme seuil d'intervention, notamment dans le cadre de la dépollution des sols, et est également utilisée par l'OMS pour définir les valeurs guides de qualité de l'eau de boisson et de qualité de l'air. Nous utiliserons donc ce seuil d'acceptabilité de 10^{-5} pour caractériser les risques cancérigènes. Concernant les risques par inhalation, l'Excès de Risque Unitaire correspond à la probabilité de survenue de cancer avec une concentration dans l'air pour un $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de l'espèce considérée.

V.2.2. Choix des substances

Conformément aux recommandations du groupe d'experts de l'InVS, les polluants à étudier sont présentés dans le tableau ci-après par voies et types d'exposition.

Catégories de polluants	Substances	Exposition aiguë	Exposition chronique par inhalation effets cancérigènes	Exposition chronique par inhalation effets non cancérigènes
Oxydes d'azote	NO ₂	X		X
Oxydes de soufre	SO ₂	X		
Composés Organiques Volatils	Benzène	X	X	X
	Acroléine	X		X
	Formaldéhyde		X	X
	1,3-butadiène		X	X
	Acétaldéhyde		X	X
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	Benzo(a)pyrène		X	
Polluants particulaires dont métaux lourds	Particules diesel		X	X
	Nickel		X	X
	Cadmium		X	X
	Arsenic		X	
	Plomb			X
	Chrome		X	
	Mercure*	* la prise en compte du baryum et du mercure n'est recommandée que pour l'analyse des risques par ingestion, dans le cas de présence de zones maraichères, arboricoles et autres potagers privés.		
	Baryum*			

Les émissions des particules diesel ne sont pas calculées directement par les outils de calcul des émissions. De plus, les concentrations de fond de cette classe de particules ne font pas l'objet de mesure in-situ par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Il a par conséquent été fait le choix de considérer les concentrations des particules PM2.5 comme représentatives de celles des particules diesel. Cette approche majore le risque car l'ensemble des PM2.5 ne sont pas émises par les moteurs diesel.

En plus des polluants précédemment étudiés dans le cadre de l'étude prévisionnelle, les résultats sur les PM10 et PM2.5 sont présentés bien qu'il n'existe pas de valeur toxicologique de référence. En effet, dans l'état actuel des connaissances, **aucun organisme ne s'est prononcé sur la relation « dose-réponse »**. Les calculs qui en découlent ne sont donnés qu'à titre indicatif et n'ont pas de valeur sanitaire.

Le mercure et le baryum ne sont pas étudiés ici du fait de l'inscription du domaine d'étude dans un contexte urbain dense, où les zones maraichères, arboricoles sont absentes.

Ces polluants ont été calculés selon la même méthode que celle utilisée dans le cadre de l'étude prévisionnelle.

V.2.3. Méthodologie de sélection des VTR

La recherche et le choix des VTR pour la réalisation du volet sanitaire de l'étude Air et Santé est basée sur les recommandations de la circulaire DGS/SD7B/2006/234 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des VTR pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact.

Ainsi, les différentes VTR ont été recherchées parmi les bases de données de l'OMS, l'IPCS, l'US EPA, l'ATSDR, l'OEHHA, Health Canada ou encore de RIVM.

Lorsqu'aucune VTR n'est proposée, la quantification des risques sanitaires n'est pas envisageable.

Lorsque plusieurs VTR sont proposées, nous avons suivi la méthodologie de la circulaire du 30 mai 2006 pour choisir la VTR à utiliser. Cette méthodologie consiste à sélectionner la VTR dans la première base dans laquelle elle est retrouvée en respectant la hiérarchisation suivante :

- pour les substances à effets à seuil : successivement US EPA puis ATSDR puis OMS/IPCS puis Health Canada puis RIVM et en dernier lieu OEHHA,
- pour les substances à effets sans seuil : successivement US EPA puis OMS/IPCS puis RIVM puis OEHHA.

Chaque instance possède sa propre méthode de caractérisation des VTR et sa propre dénomination de ces dernières. Les tableaux suivants fournissent les dénominations des VTR spécifiques à chaque organisme, ainsi que dans le cas des VTR « sans seuil », le calcul à effectuer pour déduire l'ERU (excès de risque de cancer pour une exposition chronique à une concentration de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

TABLEAU 7 : NATURE ET DÉNOMINATION DES VTR À SEUIL SELON LES DIFFÉRENTES INSTANCES

Nom de la base	Abréviation de la VTR	Unité	Signification de la VTR
EPA	RfC ou NAAQS	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Reference Concentration ou National Ambient Air Quality Standard
ATSDR	MRL		Minimal Risk Level
OMS/IPCS	Valeur guide		-
Santé Canada	TC		Tolerable Concentration
RIVM	TCA		Tolerable Concentration Air
OEHHA	REL		Reference Exposure Level

TABLEAU 8 : NATURE ET DÉNOMINATION DES VTR SANS SEUIL SELON LES DIFFÉRENTES INSTANCES

Nom de la base	Abréviation de la VTR	Unité	Signification de la VTR	Déduction de l'ERU en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
EPA	RSC	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Risk Specific Concentration => concentration correspondant à un risque de cancer de 1 sur 100 000 (10^{-5})	ERU = 10^{-5} / RSC
OMS/IPCS	ERU	$(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	Excès de Risque Unitaire	-
RIVM	CR	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cancer Risk => concentration correspondant à un risque de cancer de 1 sur 10 000 (10^{-4})	ERU = 10^{-4} / CR

OEHHA	UR	$(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	Unit Risk => Excès de risque de cancer pour une exposition chronique de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$	ERU = UR
-------	----	---------------------------------	--	----------

Le recensement des dangers et des VTR par inhalation des substances étudiées pour la présente étude ainsi que les modalités de sélection des VTR sont présentés en annexe.

V.2.4. Synthèse des dangers et des VTR sélectionnées par voie respiratoire

Les VTR sélectionnées sont reprises dans les tableaux suivants selon les différents effets :

- exposition aigue,
- exposition chronique non cancérigène,
- exposition chronique cancérigène.

TABLEAU 9 : VTR AIGUES DES SUBSTANCES PAR INHALATION

Substance	Source	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Organe cible / Effet critique	Année	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Acroléine	ATSDR	6,98	Irritation oculaire	2007	100	-
NO ₂	OMS	200	Poumons	2003	2	hommes
SO ₂	ATSDR	26	Système respiratoire	1998	9	hommes
Benzène	ATSDR	29,2	Système immunologique	2008	300	souris

TABLEAU 10 : VTR CHRONIQUES DES SUBSTANCES NON CANCÉRIGÈNES POUR UNE EXPOSITION PAR INHALATION

Substance	Source	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Organe cible / Effet critique	Année	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Acroléine	Santé Canada	0,4	Epithélium nasal	1998	100	rats
NO ₂ (1)	OMS	40	Système respiratoire	2003	-	-
Benzène	EPA	30	Système immunologique	2003	300	Homme
Particules Diesel	EPA	5	Système respiratoire	2003	30	rats
Formaldéhyde	ATSDR	9,84	Nez	1999	30	Homme
1-3Butadiène	EPA	2	Atrophie ovarienne	2002	1000	souris
Acétaldéhyde	EPA	9	Epithélium nasal	1991	1000	rats
Nickel	ATSDR	0,09	Système respiratoire	2005	30	rats
Cadmium	ATSDR	0,01	Reins	2008	9	Homme
Plomb	OMS	0,5	Système neurologique et hématologique	1999	10 000	Homme
PM10 (1)	OMS	20	Système cardiovasculaire	2000		Homme
PM2.5 (1)	OMS	10	Système cardiovasculaire	2000		Homme

1 - composé ne disposant pas de VTR, la valeur indiquée est une valeur guide

TABLEAU 11 : VTR CHRONIQUES DES SUBSTANCES CANCÉRIGÈNES POUR UNE EXPOSITION PAR INHALATION

Substance	Source	Valeur en (µg/m³) ⁻¹	Organe cible / Effet critique	Année	Type d'étude
Benzène	EPA	2,2.10 ⁻⁶ à 7,8.10 ⁻⁶	Leucémie	1998	Homme
Particules Diesel	OMS	3,4.10 ⁻⁵	Poumons	1996	rats
Chrome	EPA	1,2.10 ⁻²	Poumons	1998	Homme
Formaldéhyde	EPA	1,3.10 ⁻⁵	Epithélium nasal	1989	rats
1,3-Butadiène	EPA	3,3.10 ⁻⁵	Sang	2002	Homme
Acétaldéhyde	EPA	2,2.10 ⁻⁶	Epithélium nasal	1998	rats
Nickel	EPA	2,4.10 ⁻⁴	Poumons	1998	Homme
Cadmium	EPA	1,8.10 ⁻³	Poumons	1987	Homme
Benzo(a)pyrène	OMS	8,70.10 ⁻²	Poumons	1998	Homme
As	EPA	2,3.10 ⁻³	Poumons	1997	Homme

V.3. Evaluation de l'exposition de la population (Etape 3)

V.3.1. Matériel et méthode

De manière générale, l'exposition par inhalation d'une population est déterminée à partir du calcul de la Concentration moyenne inhalée (CMI) en chaque polluant, selon l'équation générale suivante :

$$CMI = \left(\sum_i C_i \times T_i \right) \times F \times \left(\frac{DE}{T_m} \right) \quad \text{Équation 2}$$

Avec :

CMI : Concentration moyenne inhalée (µg/m³)

C_i : Concentration de polluant représentative de la période d'exposition (µg/m³)

T_i : Taux d'exposition à la concentration C_i pendant une journée (-)

F : Fréquence ou taux d'exposition annuel qui correspond au nombre de jours d'exposition sur une année (sans unité)

DE : Durée d'exposition, intervient uniquement dans le calcul des risques cancérigènes (années)

T_m : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années), intervient uniquement pour les effets cancérigènes où cette variable est assimilée à la durée de la vie entière standard (T_m est généralement pris égal à 70 ans)

Les paramètres d'exposition T_i, F et DE doivent être renseignés pour tenir compte des conditions d'exposition auxquelles sont confrontées les populations considérées.

Le paramètre C_i (concentration en polluant dans l'air) de l'équation 2 est issu de la somme des concentrations modélisées et de celle de fond de la zone.

V.3.2. Scénario d'exposition

Il a été retenu comme scénario d'exposition de considérer les personnes résidant et travaillant dans l'aire d'étude. Ce scénario majorant permet également de prendre en compte les personnes en transit et celles qui y résident ou travaillent.

Les valeurs paramétriques choisies pour l'application de l'équation 2 sont présentées ci-dessous.

↪ Taux d'exposition (Ti)

Le scénario d'exposition, considérant que la population exposée réside et travaille dans l'aire d'étude, revient à prendre un taux d'exposition journalier (Ti) égal à 1 (100 % du temps pour une journée).

↪ Fréquence d'exposition (F)

Le scénario sélectionné dans les évaluations des risques sanitaires est de considérer une période de 30 jours (vacances et weekends) soit une présence dans l'aire d'étude de 335 jours (scénario classiquement choisi lors des EQRS). Sur une année, cela revient à prendre une fréquence d'exposition (F) de 0,92 (335/365*24/24 = 0,92).

↪ Durée d'exposition (DE)

Les VTR pour les substances à effets cancérigènes sont définies pour une exposition sur une vie entière (égale, par convention, à 70 ans). Aussi pour ces effets, un facteur de pondération est introduit dans le calcul de la Concentration moyenne inhalée (équation 2), pour les expositions de durée inférieure à 70 ans. Ce facteur de pondération est égal au rapport entre la durée d'exposition (DE), correspondant à la durée de séjour des individus sur le site d'exposition, et le temps de pondération (T_m) égal à 70 ans.

Le temps de résidence (DE) est considéré égal à 30 ans. Ce scénario souvent utilisé par US-EPA correspond également au temps de résidence des Français sans changement d'adresse selon une étude d'Électricité de France en 1998 (Nedellec et al.).

Synthèse des scénarios sélectionnés par typologie de risque d'exposition :

Pour une exposition aiguë, aucun scénario d'exposition n'est défini. La concentration retenue pour la comparaison avec la valeur toxicologique de référence correspond à la valeur maximale modélisée pour une dispersion atmosphérique défavorable (centile 100) :

$$CMI = C_{i_{P100}}$$

Pour une exposition chronique à un polluant non cancérigène, les concentrations sont pondérées d'un facteur 0,92 (correspondant à une exposition de 335 jours par an 24 heures sur 24) :

$$CMI = C_{i_{MA}} \times 0,92$$

Pour une exposition chronique à un polluant cancérigène, les concentrations sont pondérées d'un facteur 0,39 correspondant à une exposition similaire à l'exposition systémique mais sur une durée de 30 ans (les VTR sont déterminées pour une exposition de 70 ans).

$$CMI = \frac{C_{i_{MA}} \times 0,92 \times 30}{70} = C_{i_{MA}} \times 0,394$$

V.3.3. Valeurs de pollution de fond

Conformément à la circulaire du 25 février 2005, la pollution de fond à laquelle est exposée la population doit être estimée à partir des mesures issues des réseaux de surveillance de la qualité de l'air, et plus particulièrement par des stations de fond. Ces concentrations de fond sont

ajoutées aux concentrations modélisées afin de caractériser l'exposition réelle des riverains. Les concentrations de fond proviennent des résultats d'une étude d'AirPACA réalisée en 2007 sur Cabriès.

Le tableau suivant récapitule les concentrations de fond qui caractérisent la zone d'étude.

Polluants	Concentrations	Polluants	Concentrations
NO ₂	16 µg/m ³	Arsenic	0,4 ng/m ³
PM10	24 µg/m ³	Cadmium	0,05 ng/m ³
PM2.5	20 µg/m ³	Nickel	3,5 ng/m ³
Benzène	1,2 µg/m ³	Chrome	5,2 ng/m ³
Monoxyde de carbone	300 µg/m ³	Plomb	3,1 ng/m ³
Dioxyde de soufre	3 µg/m ³	formaldéhyde	5,3 µg/m ³
acétaldéhyde	3,2 µg/m ³	Acroléine	< 0,5 µg/m ³
1-3 Butadiène	0,7 µg/m ³	Benzo(a)pyrène	0,32 ng/m ³

(1) campagnes de mesure de 2009 ; (2) source Atmo Paca : État initial de la qualité de l'air 2007 commun de Cabriès

On retiendra que sur les cartes de risques présentées ci-après, la pollution de fond a été considérée comme constante en situation actuelle ainsi qu'à terme avec et sans projet. Ce point peut être considéré comme majorant compte tenu des évolutions prévisibles de long terme (cf paragraphe V.5).

V.4. Caractérisation des risques par inhalation (Etape 4)

Le calcul des risques consiste à appliquer la relation dose-effet aux valeurs d'exposition estimées dans les étapes précédentes. Elle a pour but de connaître la possibilité d'apparition d'un effet dans une population (pour les effets non cancérogènes) ou d'obtenir l'excès de risque individuel (ERI), et éventuellement un nombre de cas de cancer en excès (NCE), attendus parmi la population exposée (pour les effets cancérogènes).

Les calculs de risque sont effectués, d'une part pour l'exposition globale à la pollution routière qui s'ajoute à la pollution de fond afin de caractériser l'exposition la plus réaliste de la population, et, d'autre part pour l'exposition au bruit de fond afin de déterminer la part de la pollution de fond générale sur la zone d'étude (considérée comme identique entre les 3 scénarii d'étude).

V.4.1. Effets systémiques

V.4.1.1. Méthodologie

Les polluants non cancérogènes répondent à un seuil de toxicité en dessous duquel on considère qu'il y a absence de risque sanitaire et au-dessus duquel on considère qu'il y a présence d'un risque sanitaire.

Pour évaluer la présence ou non d'un risque sanitaire, on calcule un Quotient de Danger selon la formule suivante :

$$QD = \frac{CJE_{aiguë}}{VTR_{aiguë}}$$

$$QD = \frac{CJE_{chronique}}{VTR_{chronique}}$$

Le Ratio de Danger maximal est calculé à partir de la concentration maximale obtenue sur le site sensible. Dans le cas où le Ratio de Danger maximal est inférieur à 1, il est conclu que la population est théoriquement hors de toute possibilité d'apparition de danger. Lorsque celui-ci est supérieur ou égal à 1, un danger existe.

Pour les polluants ayant un impact sanitaire identique (même organe cible), il est possible de sommer les ratios de danger pour évaluer l'impact sur la santé liée à la co-exposition à plusieurs toxiques. Ainsi, les ratios de danger du nickel, du NO₂ et des PM10 seront sommés pour l'évaluation des risques d'atteinte de la fonction respiratoire, et l'acroléine, le formaldéhyde et l'acétaldéhyde pour les risques d'atteinte de l'épithélium nasal. Les particules PM10 et PM2.5 ont un impact sur les fonctions cardiovasculaires. Il a été choisi de réaliser un calcul de ratio de danger sur la base des valeurs guides de l'OMS. Le calcul présenté a été réalisé en sélectionnant non pas la somme des deux ratios de danger mais le plus important des deux. En effet, il n'existe pas d'étude montrant une additivité des risques pour ces deux classes de particule touchant les mêmes organes cibles.

Les ratios de dangers aigu et chronique sont calculés pour chaque site sensible.

V.4.1.2. Risque aigu

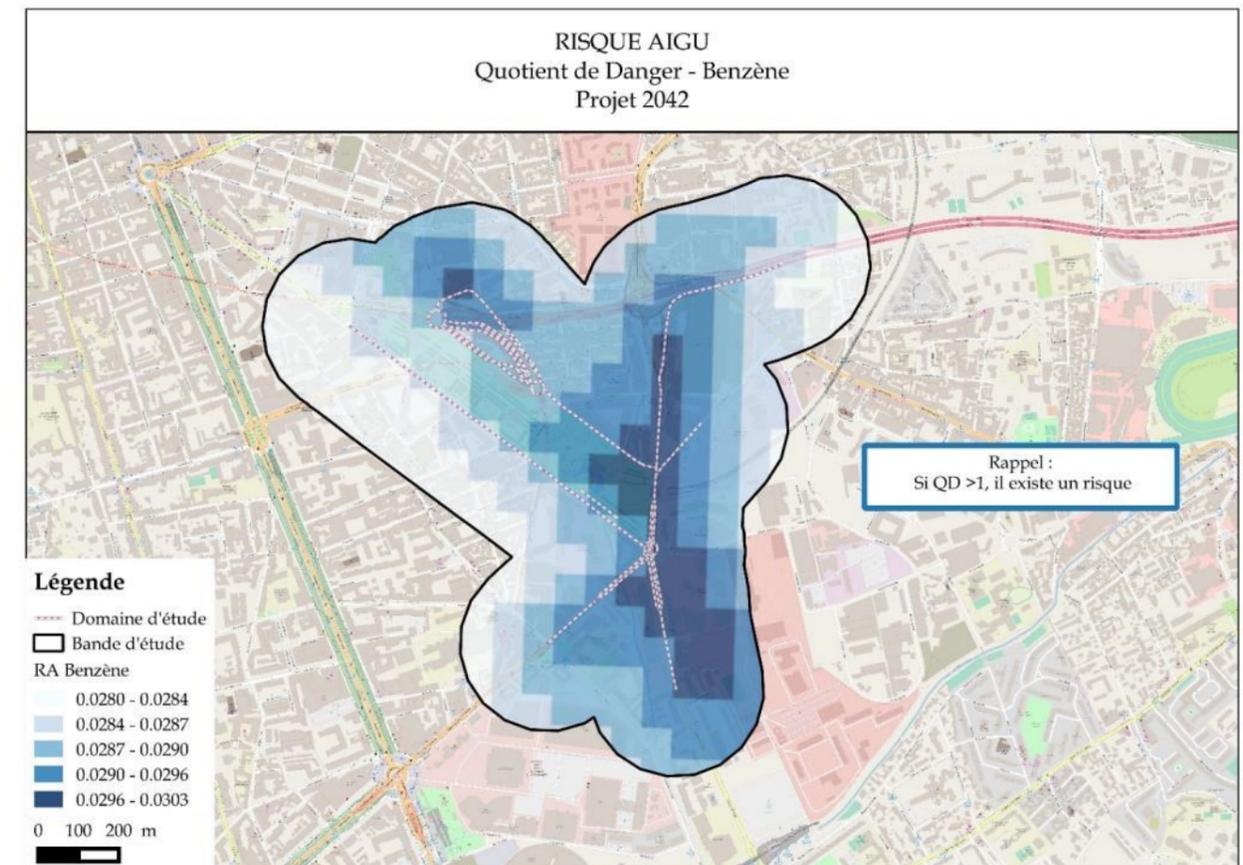
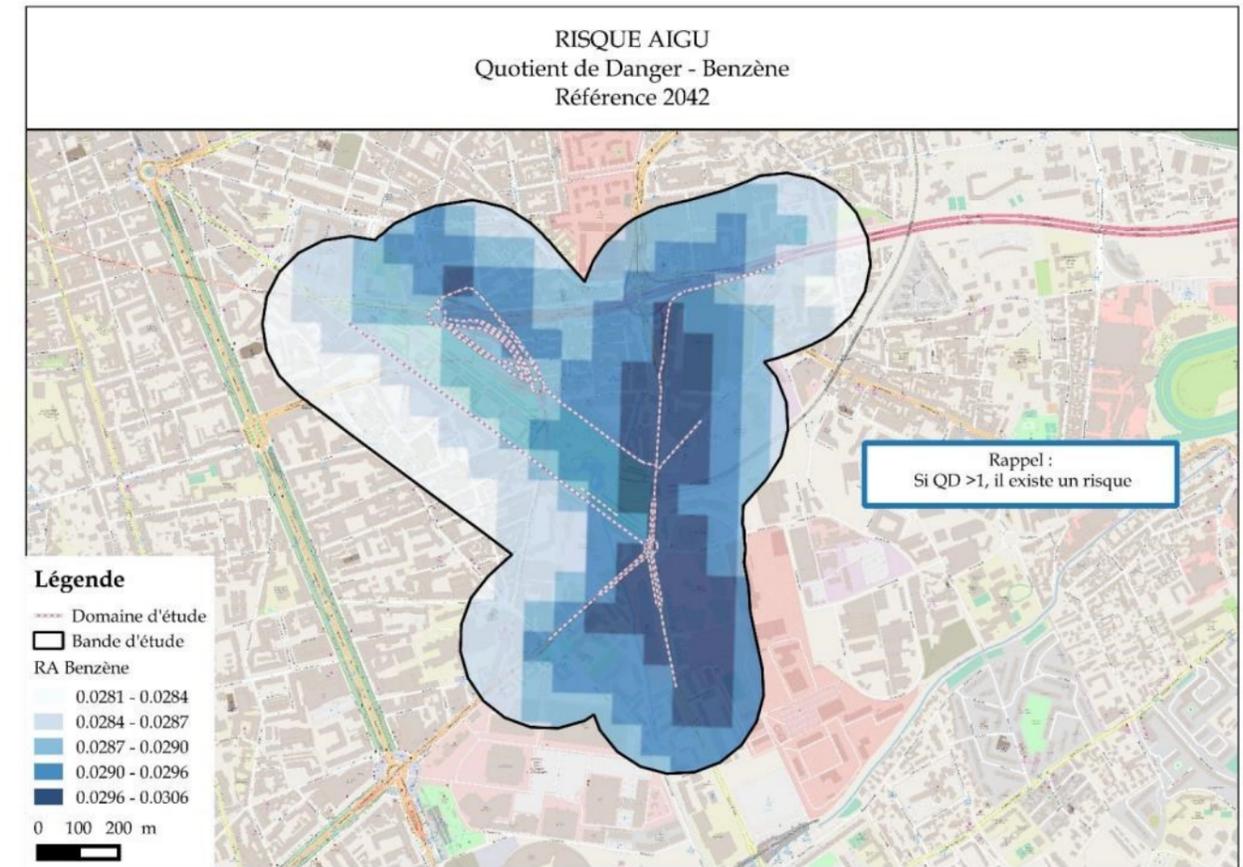
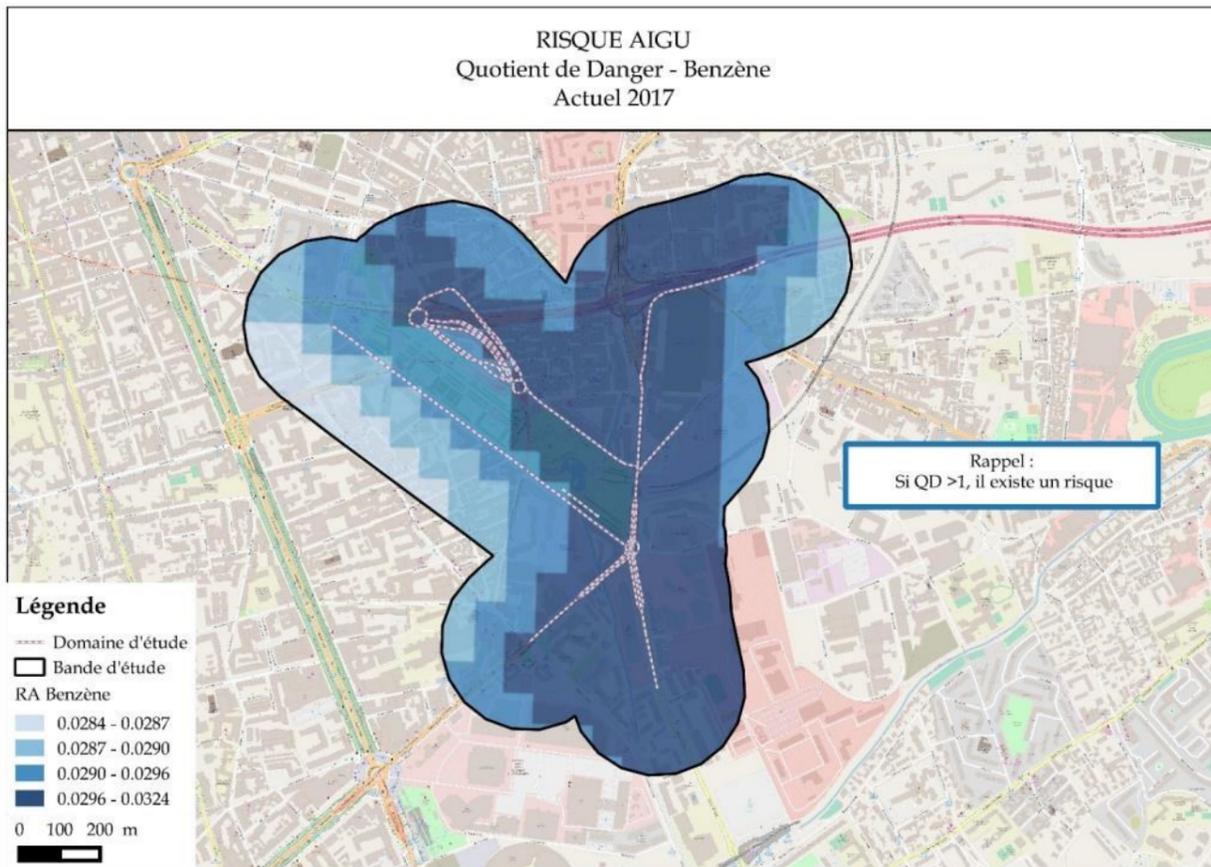
Les quotients de danger pour le risque aigu ont été calculés sur l'ensemble de la zone d'étude, à savoir dans chaque maille où une concentration a été modélisée. Une représentation graphique des quotients de danger est présentée pour chaque polluant concerné par le risque aigu.

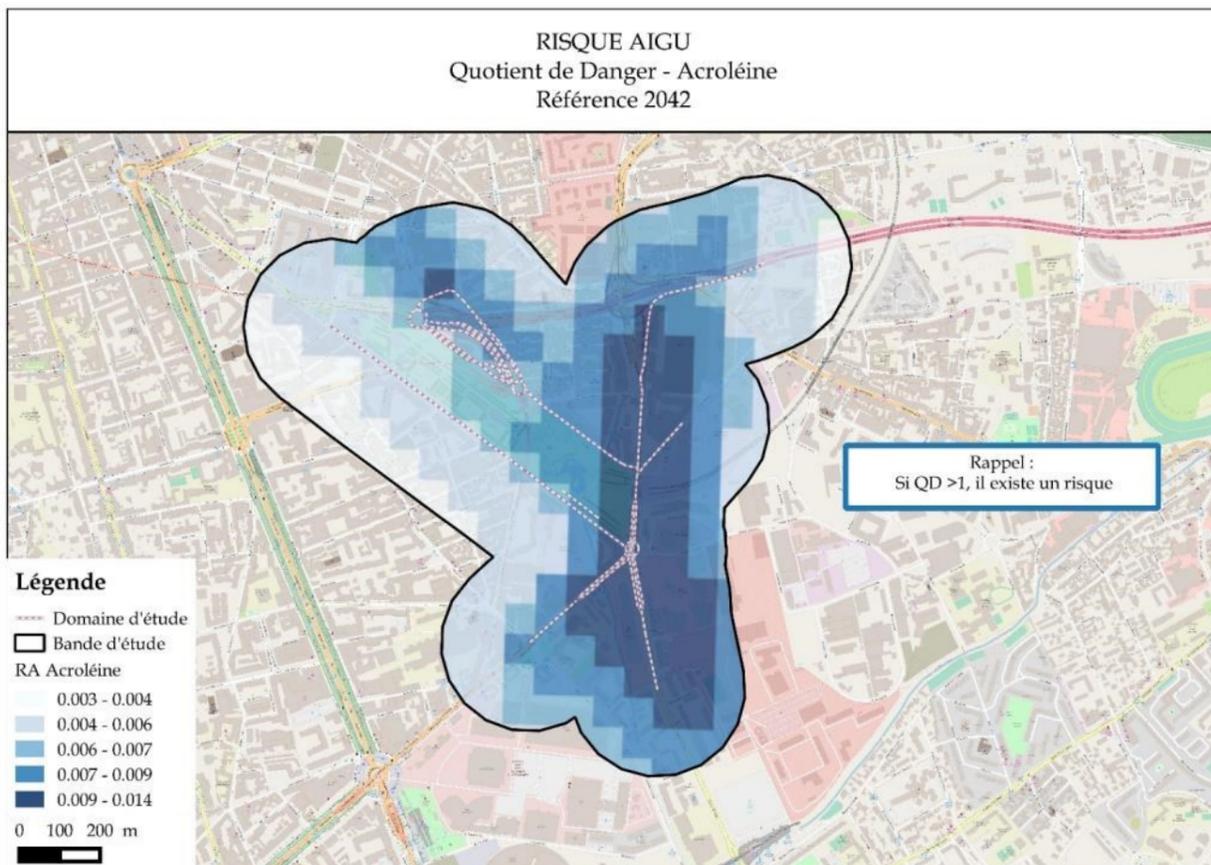
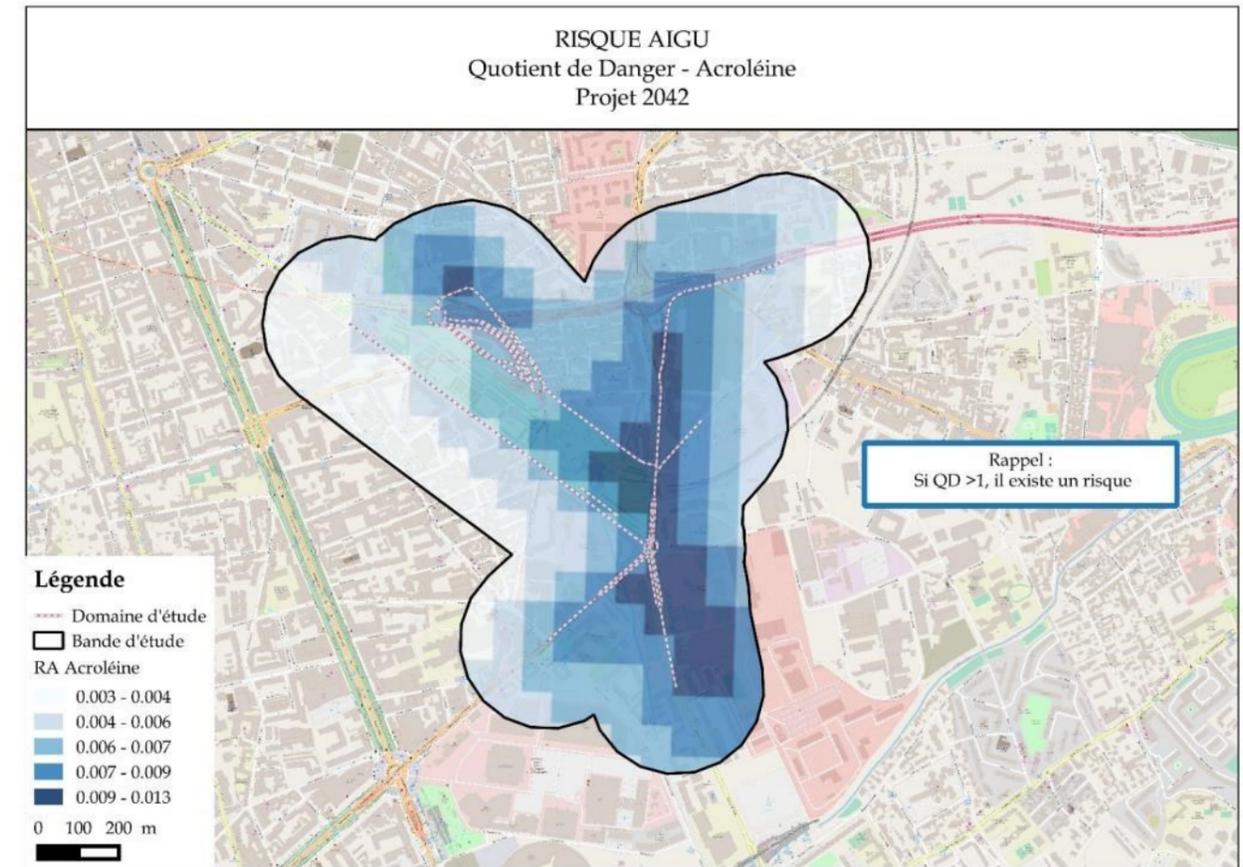
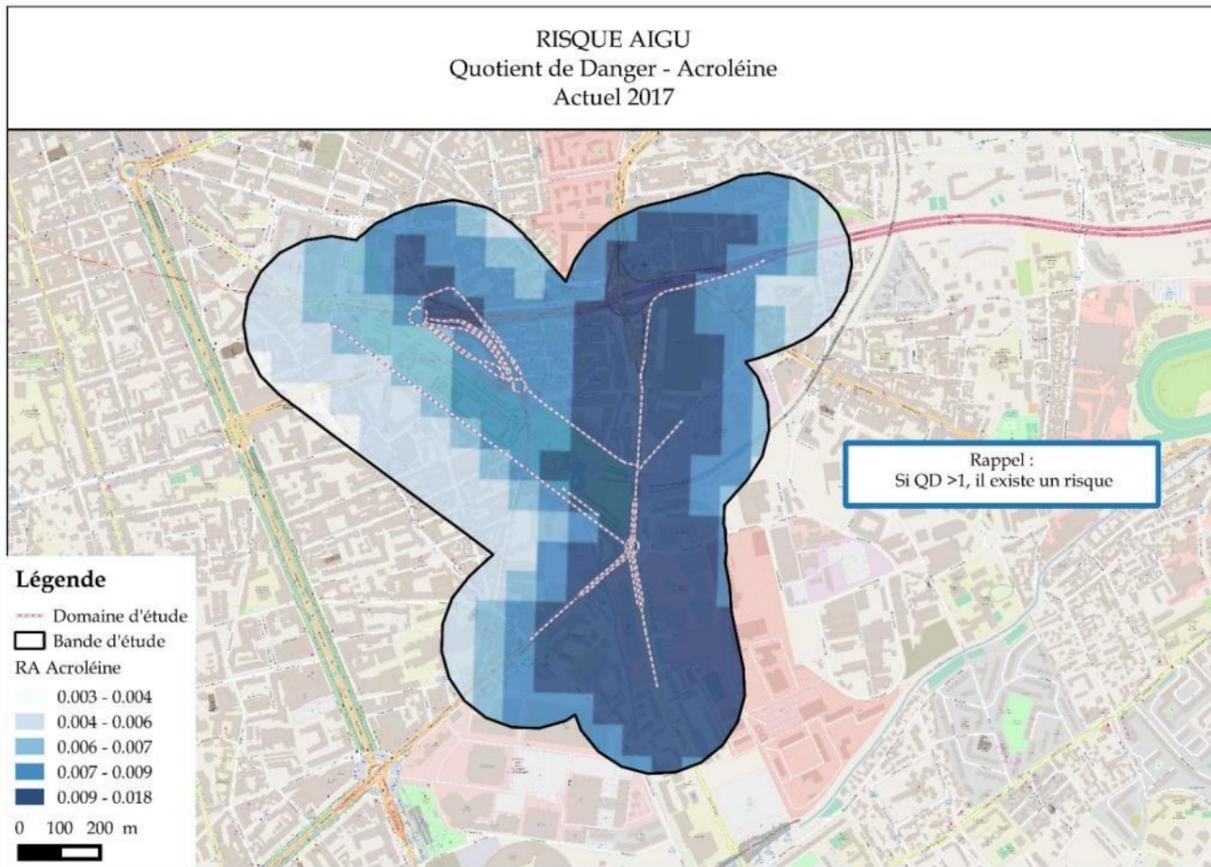
Il ressort que l'ensemble des quotients de danger est inférieur à 1. La bande d'étude n'est donc pas exposé à ce risque.

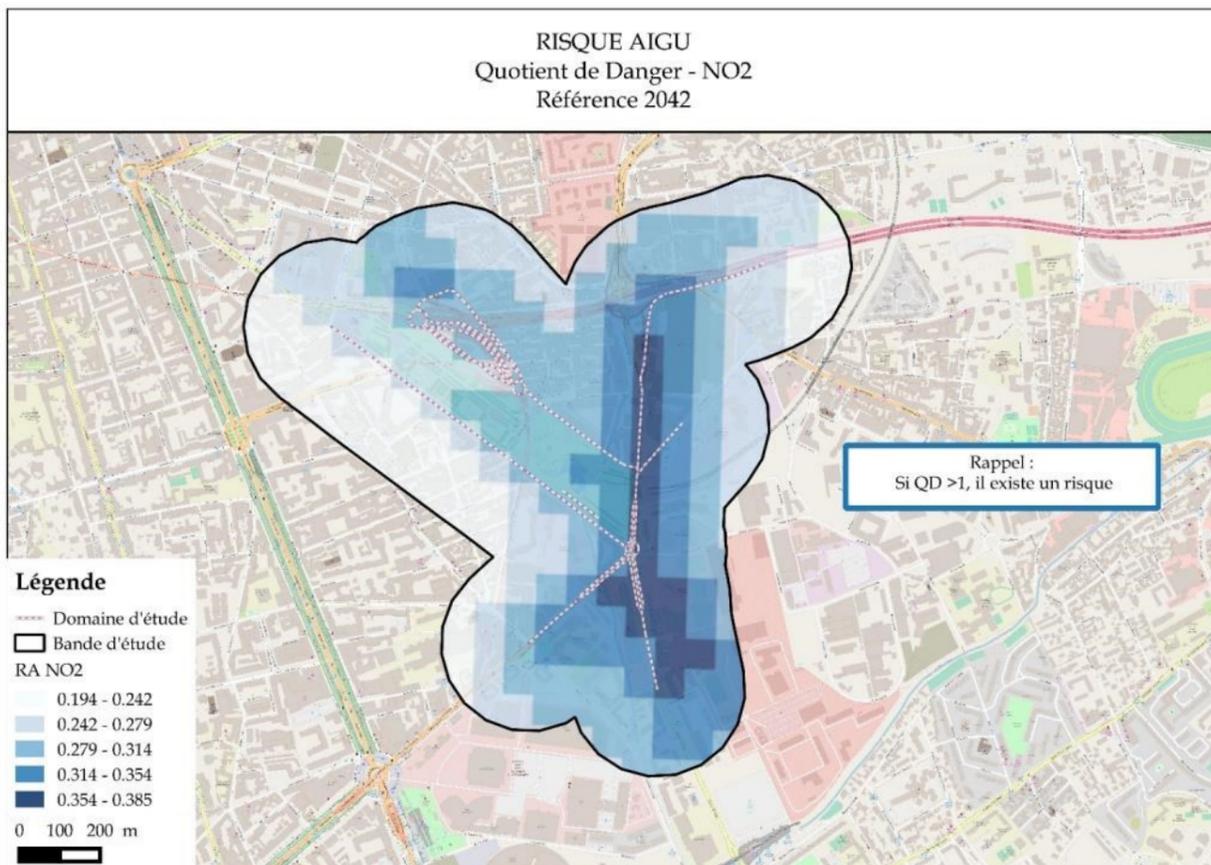
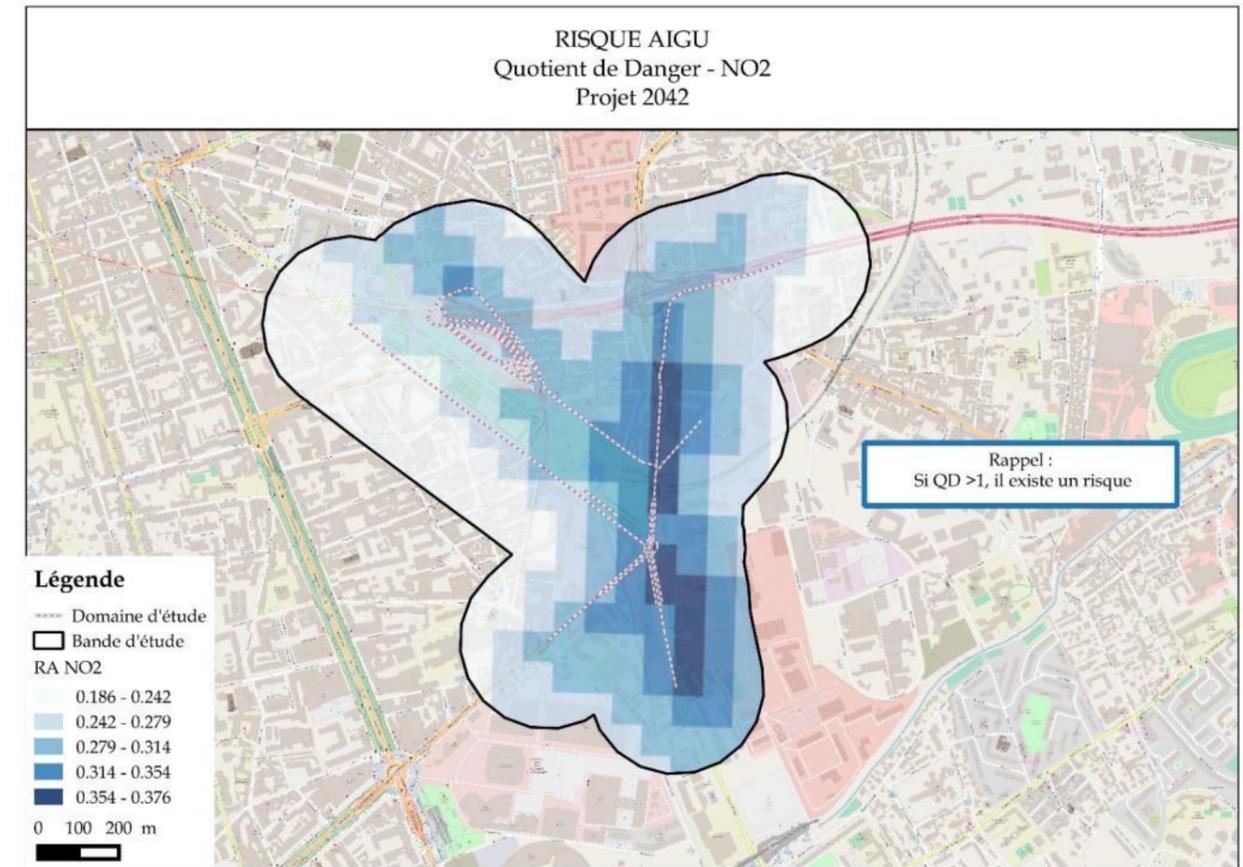
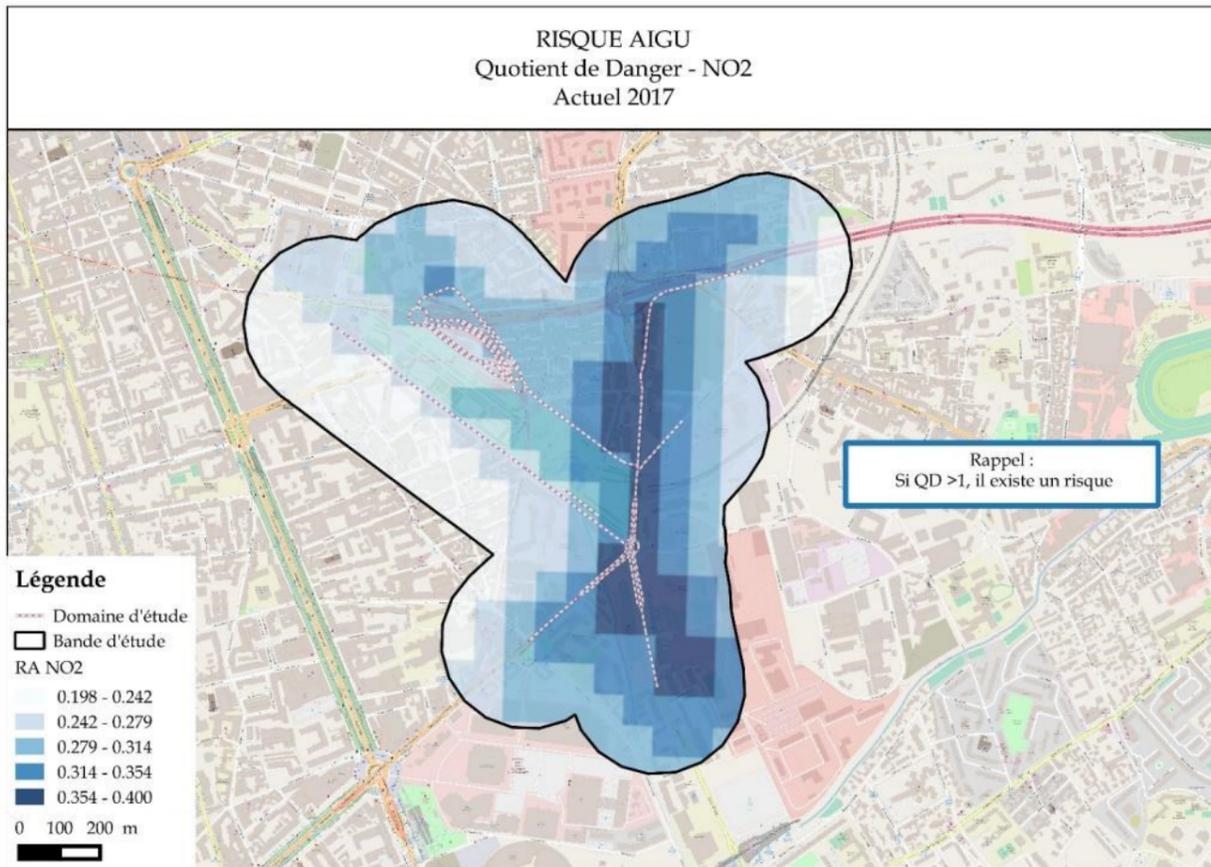
Il faut également noter que le quotient de danger en ne prenant en compte que la pollution de fond contribue pour une part importante aux quotients de danger des différents polluants.

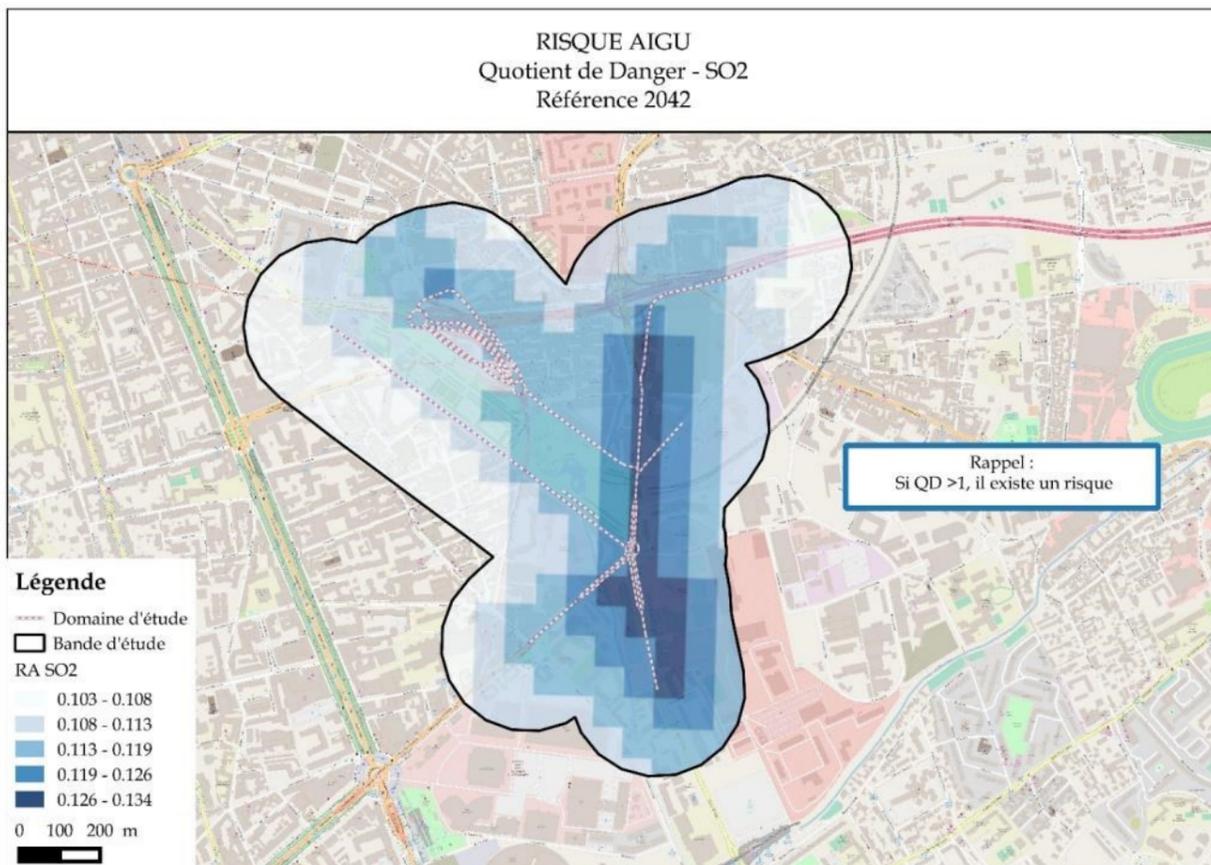
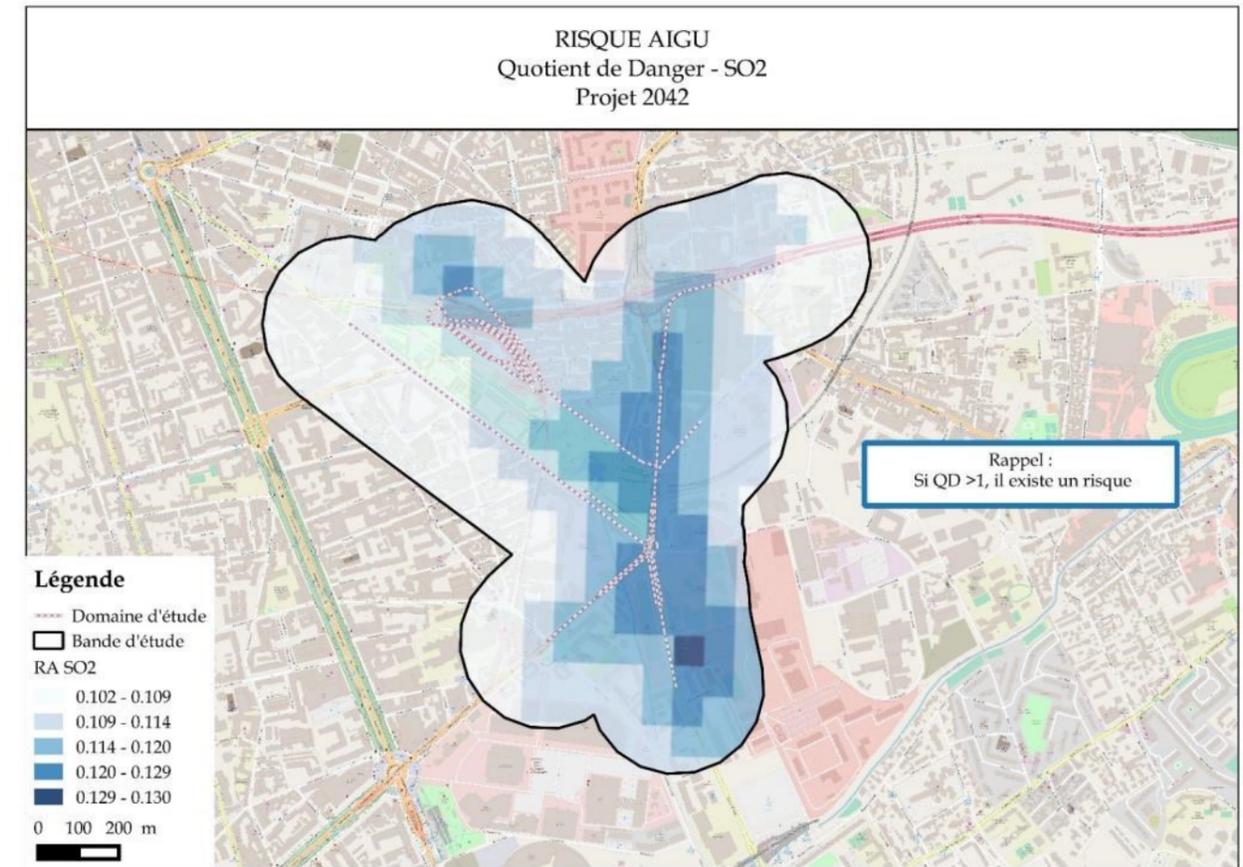
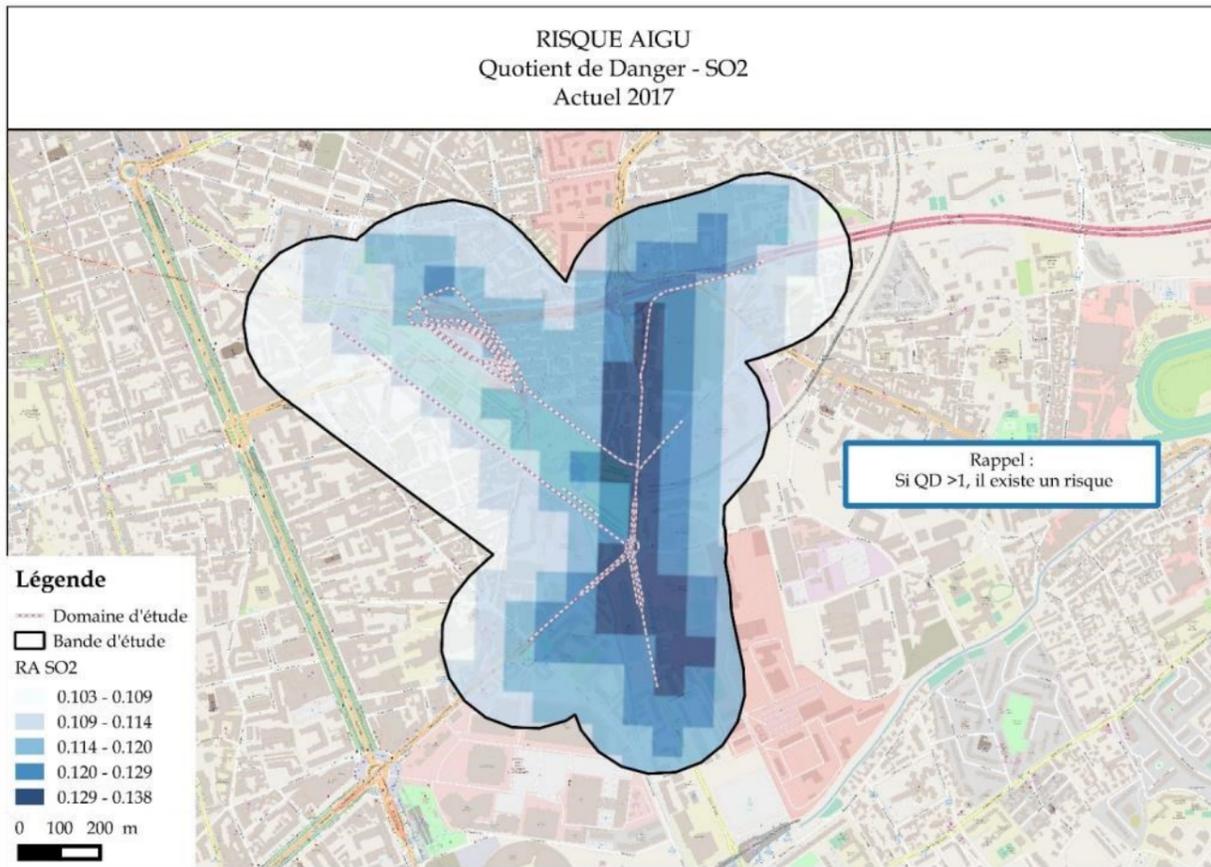
Le tableau « RD - pollution de fond seule » présente le ratio de danger en ne prenant en compte que la pollution de fond. Il ressort que la concentration de fond contribue pour une part importante aux ratios de danger pour le benzène 100%, le NO₂ (30 à 45%) et le SO₂ (90 à 100%).

	Benzène	NO ₂	Acroléine	SO ₂
QD Pollution de fond seule	0.02740	0.103	0.00	0.096









V.4.1.3. Risque chronique avec effet de seuil

Les quotients de danger ont été calculés sur l'ensemble de la bande d'étude pour le risque chronique avec effet de seuil (risque systémique).

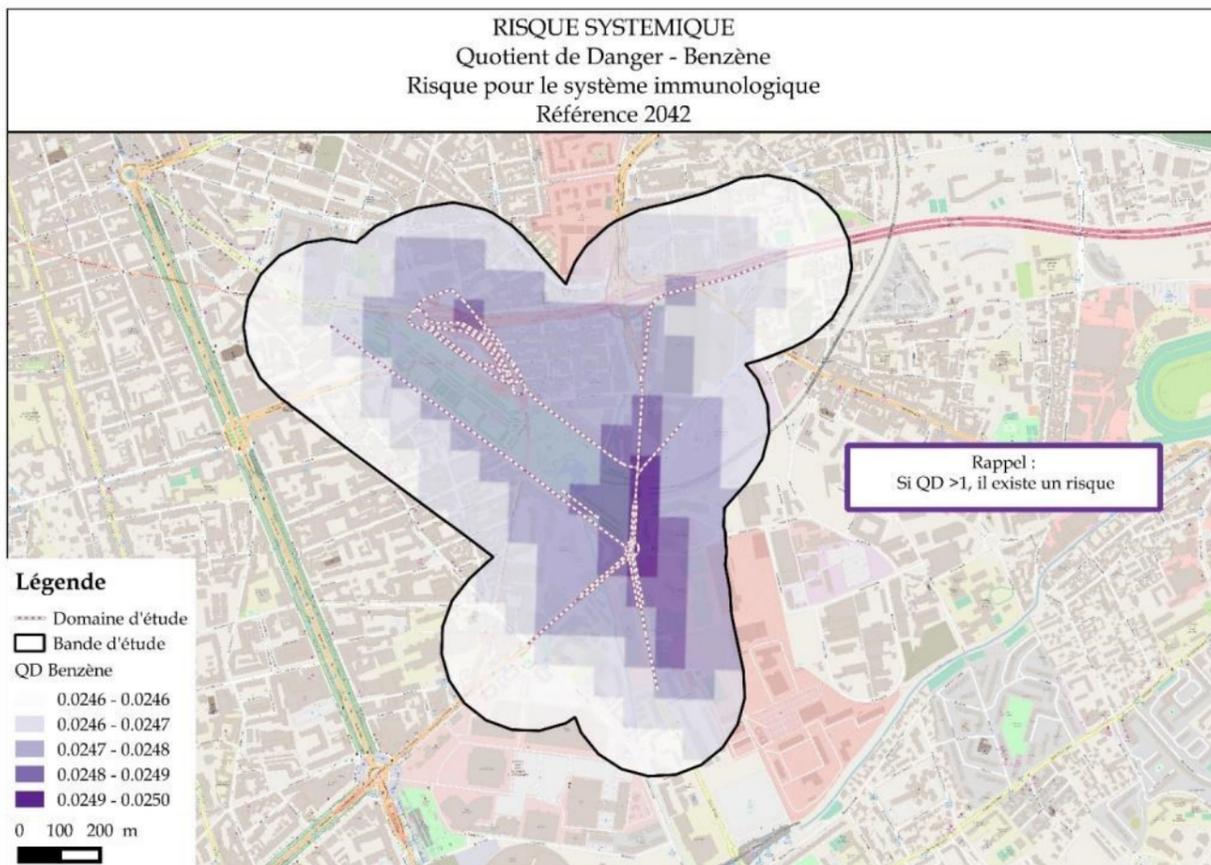
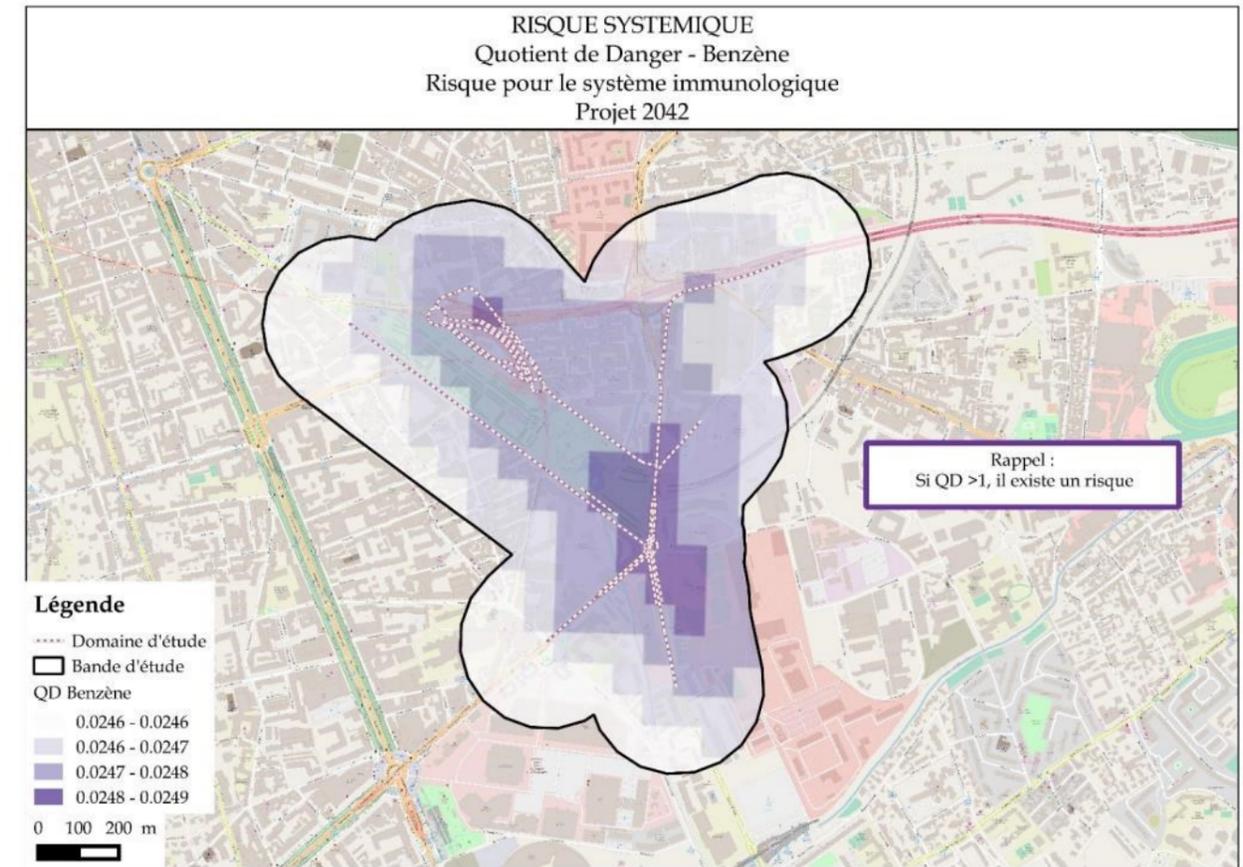
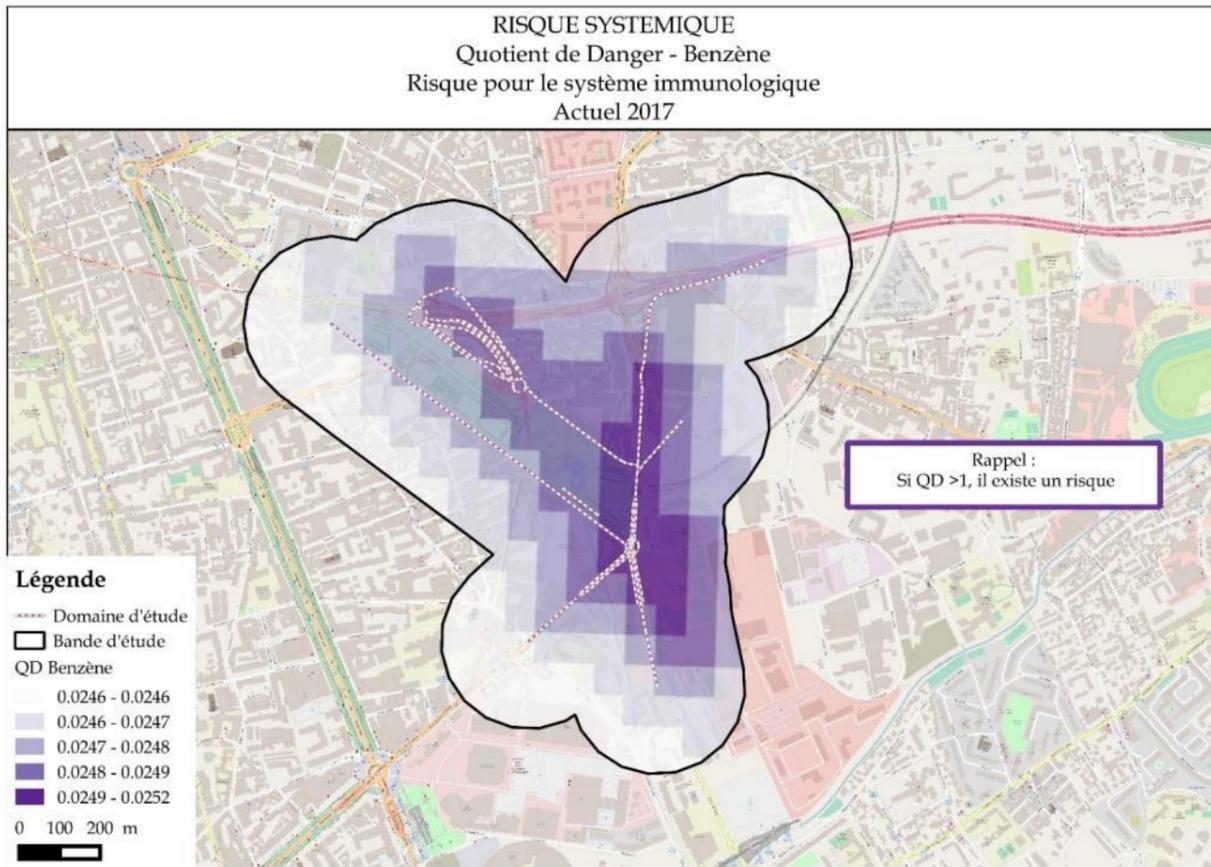
Dans un esprit de synthèse, le tableau suivant présente le résultat du quotient de danger obtenu le plus important (soit au droit de la concentration maximum) dans la bande d'étude et seules les représentations graphiques des polluants présentant un ratio de danger supérieur à 1 sont présentés. La valeur maximale permet de mettre en avant le risque le plus important rencontré dans l'aire d'étude.

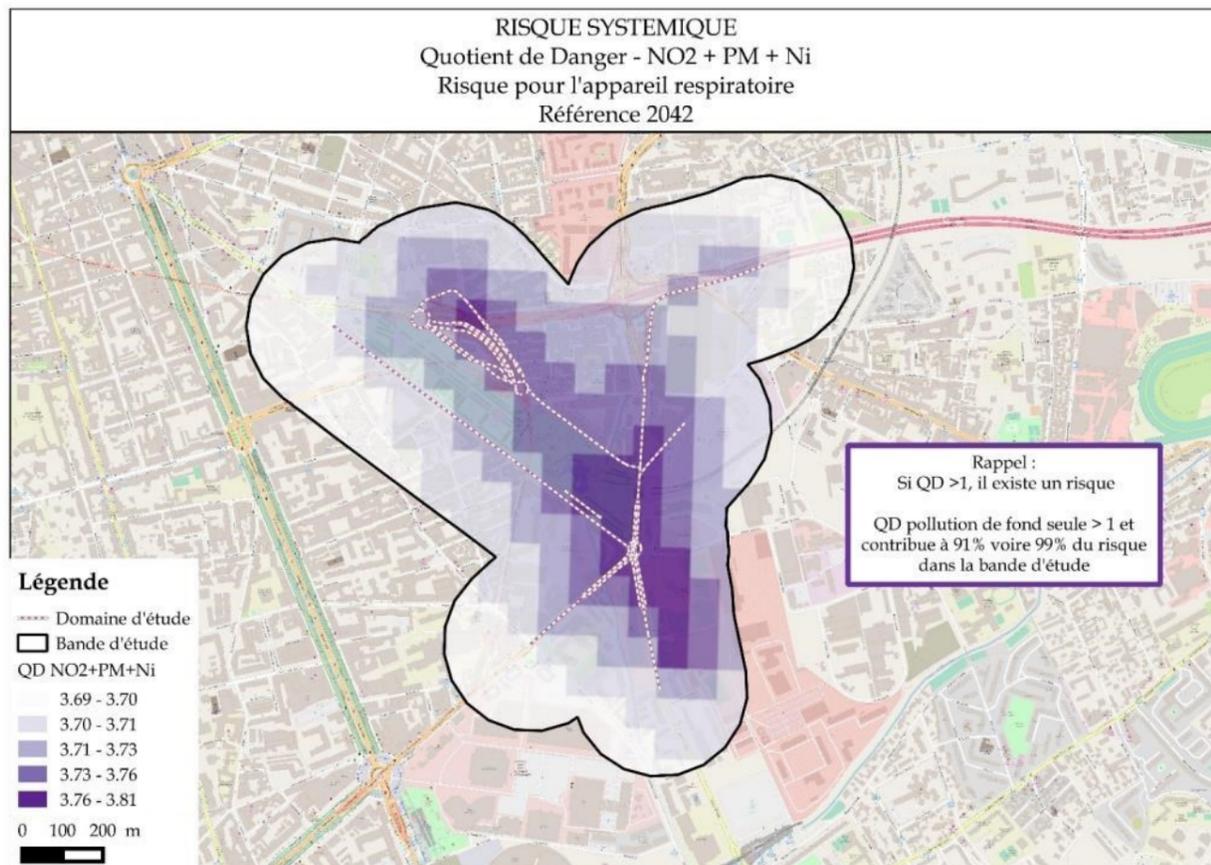
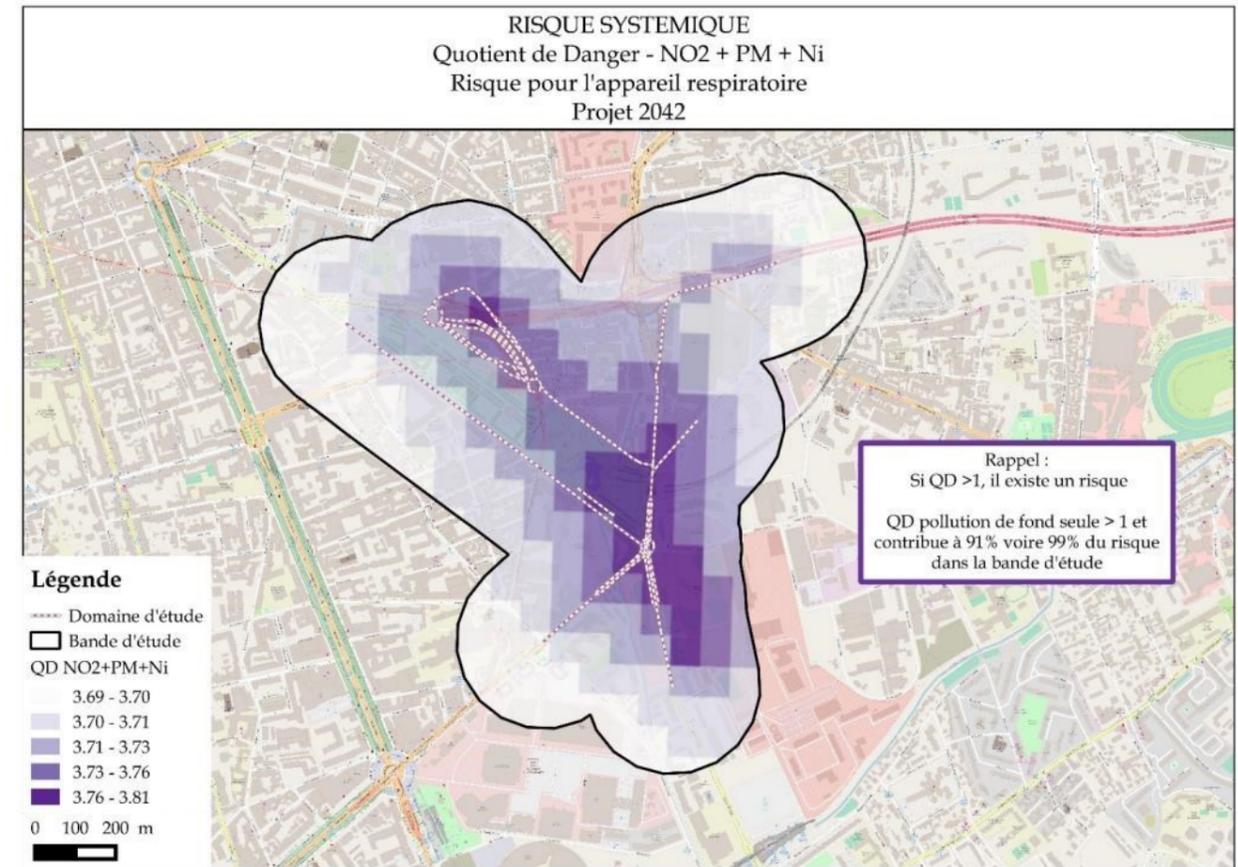
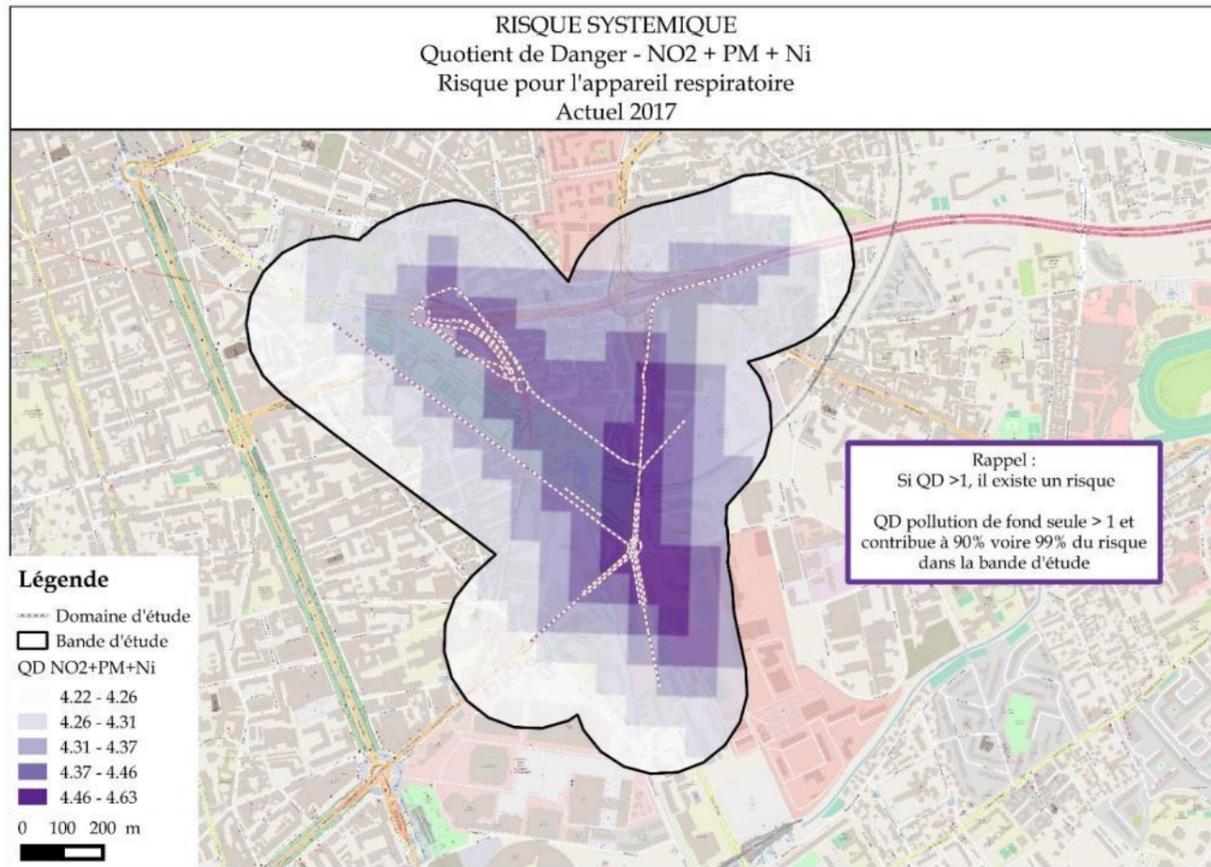
On rappelle que lorsque le quotient de danger est supérieur à 1, un effet sur la santé est constatable.

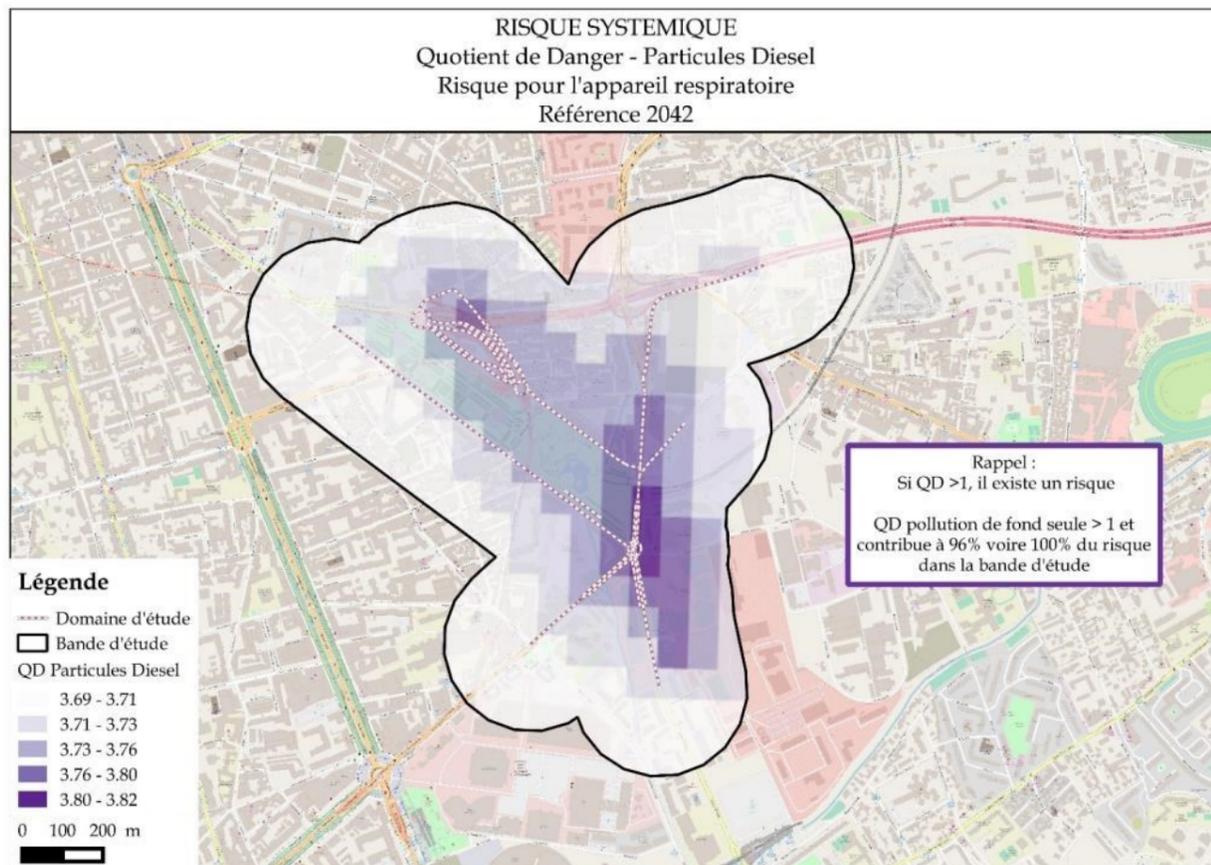
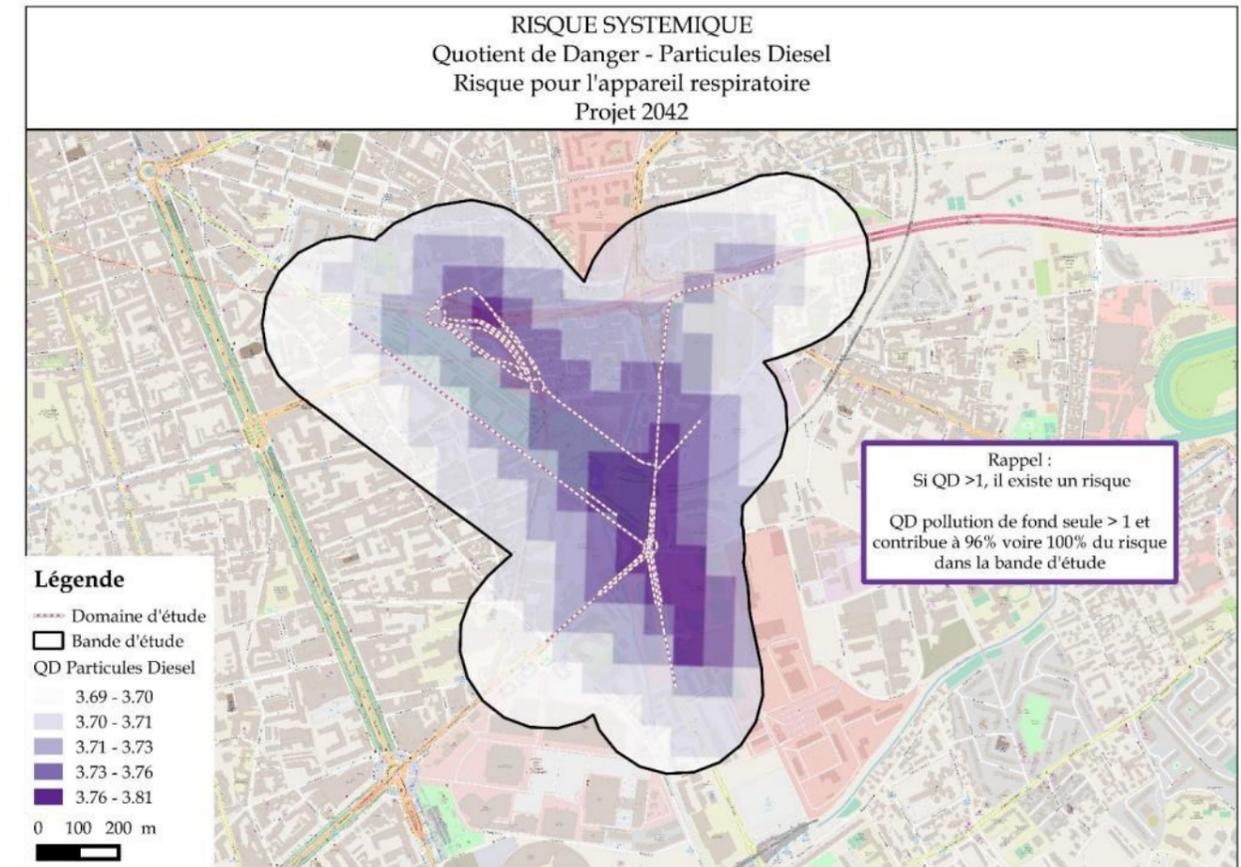
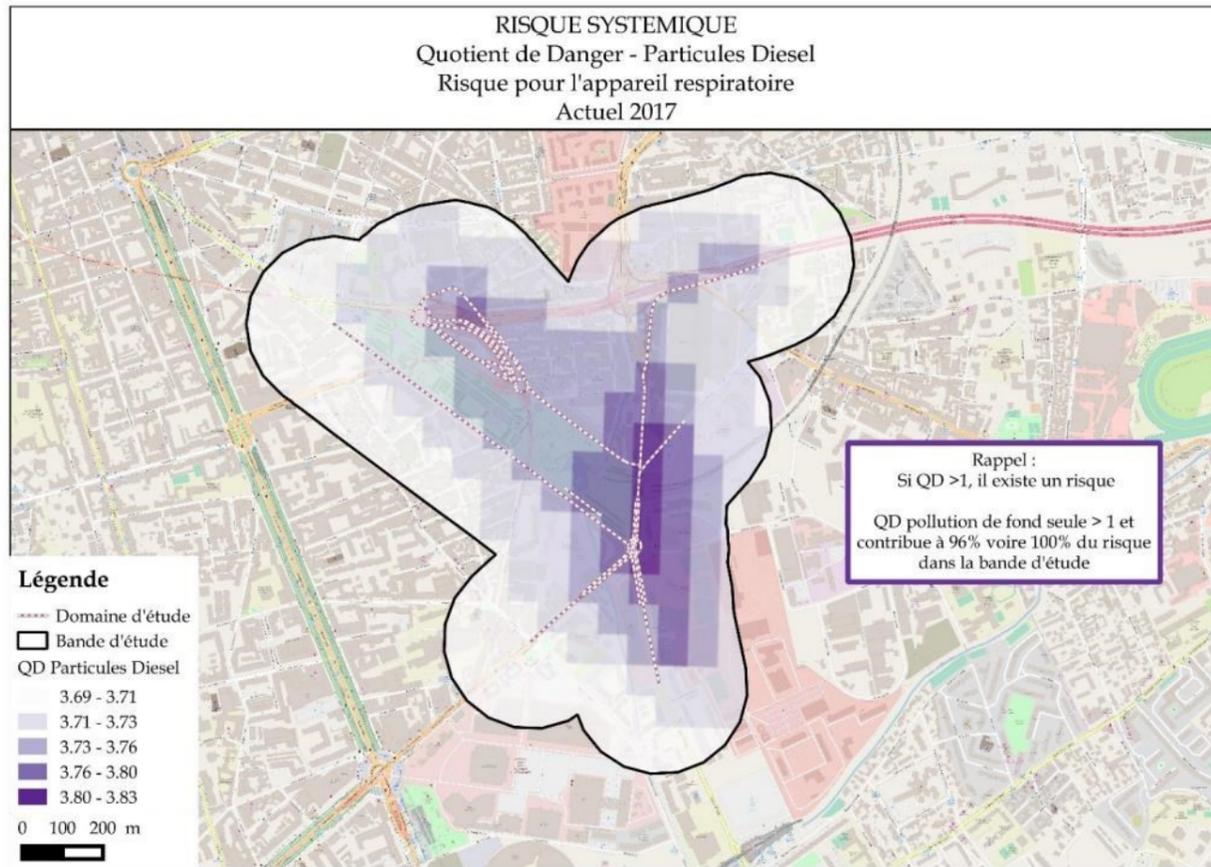
TABLEAU 12 : QUOTIENT DE DANGER MAXIMAL DANS LA BANDE D'ÉTUDE POUR LE RISQUE SYSTÉMIQUE

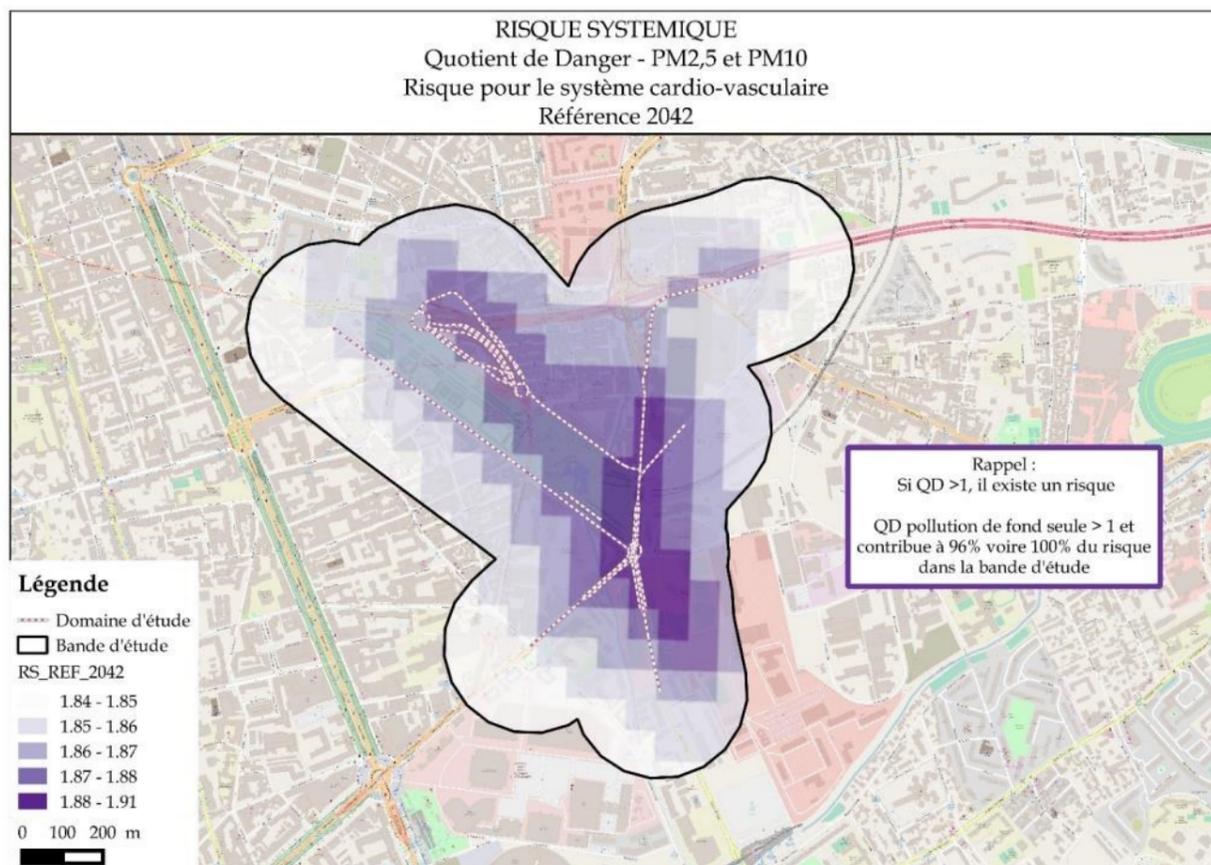
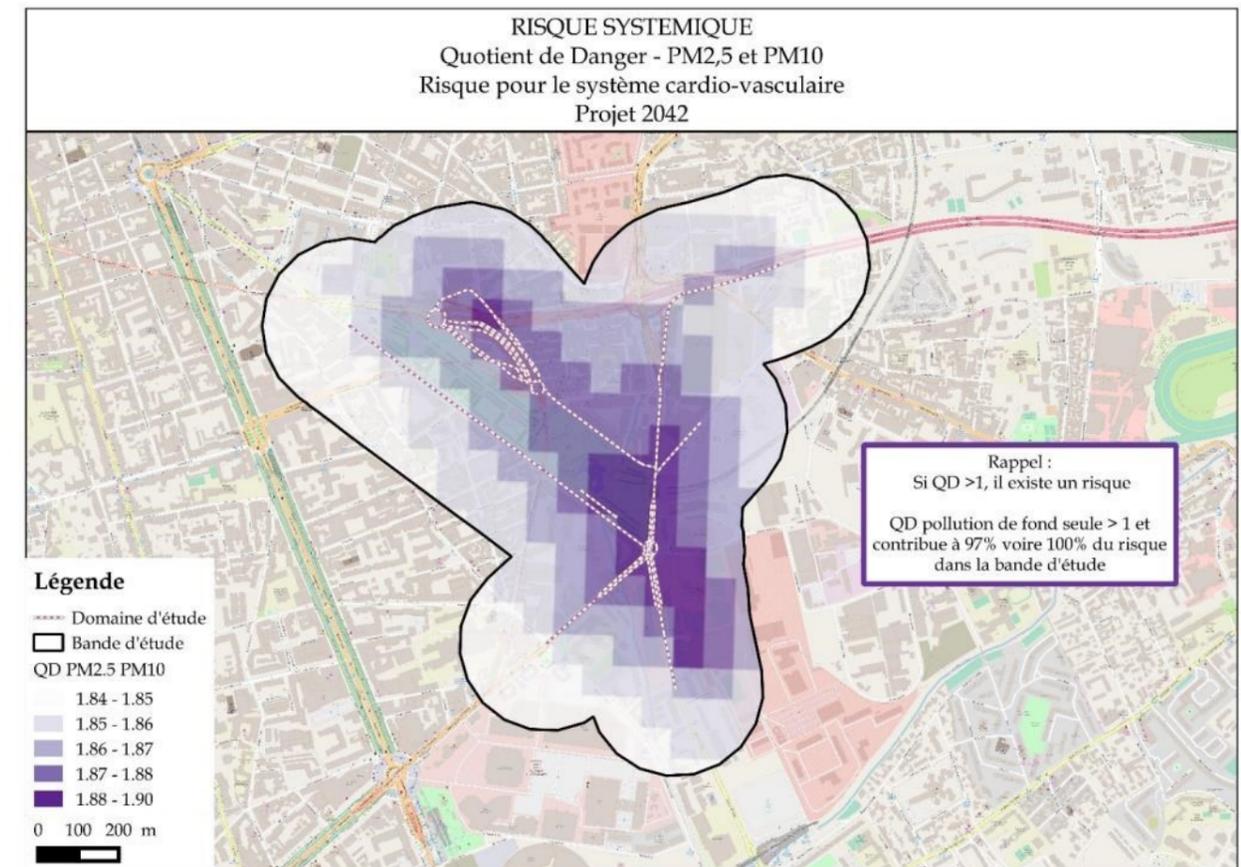
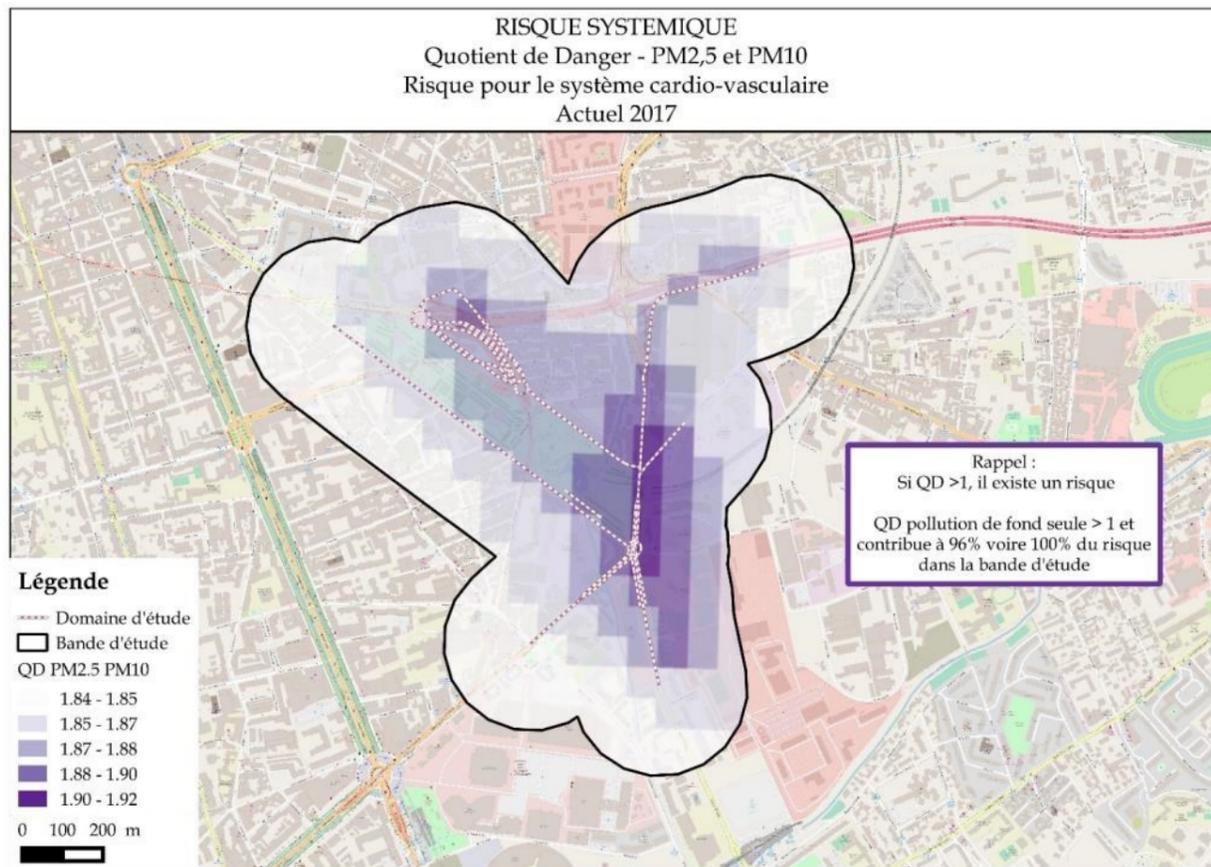
	Fonction atteinte	QD avec uniquement la concentration de fond	Scénario	QD max
Benzène	Système immunologique	0,024	Actuel	0,0252
			Sans projet	0,0250
			Avec Projet	0,0249
Acroléine	Epithélium nasal	0,00	Actuel	0,0426
			Sans projet	0,0354
			Avec Projet	0,0311
NO ₂	Appareil respiratoire	0,47	Actuel	0,7572
			Sans projet	0,7502
			Avec Projet	0,7341
Particules diesel	Appareil respiratoire	3,68	Actuel	3,8321
			Sans projet	3,8164
			Avec Projet	3,8068
Formaldéhyde	Epithélium nasal	0,50	Actuel	0,5020
			Sans projet	0,5009
			Avec Projet	0,5003
1,3 butadiène	Ovaires	0,322	Actuel	0,3262
			Sans projet	0,3252
			Avec Projet	0,3250
Acétaldéhyde	Epithélium nasal	0,327	Actuel	0,3309
			Sans projet	0,3303

	Fonction atteinte	QD avec uniquement la concentration de fond	Scénario	QD max
Nickel	Appareil respiratoire	0,036	Avec Projet	0,3299
			Actuel	0,0358
			Sans projet	0,0358
			Avec Projet	0,0358
Cadmium	Reins	0,0046	Actuel	0,0046
			Sans projet	0,0046
			Avec Projet	0,0046
Plomb	SNC et sang	0,006	Actuel	0,0057
			Sans projet	0,0057
			Avec Projet	0,0057
NO ₂ +PM+Ni	Appareil respiratoire	4,19	Actuel	4,6250
			Sans projet	4,6025
			Avec Projet	4,5768
Acr+For+Acé	Epithélium nasal	0,82	Actuel	0,8755
			Sans projet	0,8666
			Avec Projet	0,8613
PM2,5 et PM10	Système cardio-vasculaire	1,84	Actuel	1,9160
			Sans projet	1,9082
			Avec Projet	1,9034









Il apparaît que les ratios de dangers maximaux obtenus en situation actuelle et projetée pour les particules diesel sont supérieurs à 1, ce qui signifie que des risques d'atteintes de la fonction respiratoire (effet des particules diesel en exposition chronique) sont possibles, aussi bien pour le scénario « Actuel 2017 » que pour les scénarios à l'horizon 2042. Toutefois, pour ce polluant, la pollution de fond seule engendre déjà une situation à risque ($QD > 1$). En effet, la valeur de pollution de fond est très élevée car il a été choisi d'utiliser celle des PM2.5. Ce choix est majorant car il prend en compte l'ensemble des particules inférieures à 2,5 microns qu'elles proviennent d'un moteur diesel ou non. Dans la réalité, l'ERS ne s'intéresse qu'aux particules diesel (les plus toxiques) mais qui ne représentent qu'une partie des particules fines émises, notamment par le trafic automobile. De ce fait, l'exposition est ici majorée.

Le QD calculé pour les PM10 et PM2.5 (qui ne constitue pas une expression d'un risque étant donné l'absence de VTR) est supérieure à 1. Ce ratio élevé résulte directement des concentrations de fond qui participent pour quasiment 100% à sa valeur. En revanche, pour la plupart des polluants, (le benzène, le formaldéhyde, le 1,3-butadiène, l'acétaldéhyde, le nickel, le cadmium, le plomb et le NO₂), les quotients de danger sont inférieurs à 1. Il n'y a donc pas de risque pour la santé humaine lié à ces polluants en exposition chronique par voie respiratoire pris individuellement. Concernant le cumul des risques d'atteinte de la fonction respiratoire lié à l'exposition simultanée au NO₂, particules diesel et au nickel, l'ERS aboutit à des dépassements du ratio de danger. Les particules présentent à elles seules des ratios de danger supérieurs à 1 pour les raisons expliquées précédemment. A ce ratio de danger élevé, s'ajoutent ceux du nickel et du dioxyde d'azote. On peut rappeler la majoration des risques dans le cas des particules du fait de la prise en compte des PM2.5 totales pour la pollution de fond.

V.4.2. Effets sans seuil (ou cancérigènes)

V.4.2.1. Méthodologie

Les polluants à effets cancérigènes ne répondant pas à un seuil de dose, l'évaluation des risques sanitaires consiste à évaluer la probabilité pour une personne exposée à la pollution de l'infrastructure de développer un cancer. Cette probabilité est appelée Excès de Risque Individuel et se calcule de la façon suivante :

$$ERI = CMI \times ERU$$

Pour évaluer le risque de cancer global lié à l'exposition simultanée à plusieurs toxiques, il sera calculé l'Excès de Risque Global dans chaque maille, en sommant les ERI calculés pour chaque polluant :

$$ERG = \sum ERI$$

L'impact du projet pourra alors être évalué en calculant la différence de l'Excès de Risque Global entre le scénario « Référence 2042 » et « Projet 2042 » :

$$ERG_{impactproj} = ERG_{2042projet} - ERG_{2042référence}$$

V.4.2.2. Résultats

Comme précédemment, le tableau suivant présente les Excès de Risque Individuel maximaux calculés pour chaque polluant cancérigène dans la bande d'étude.

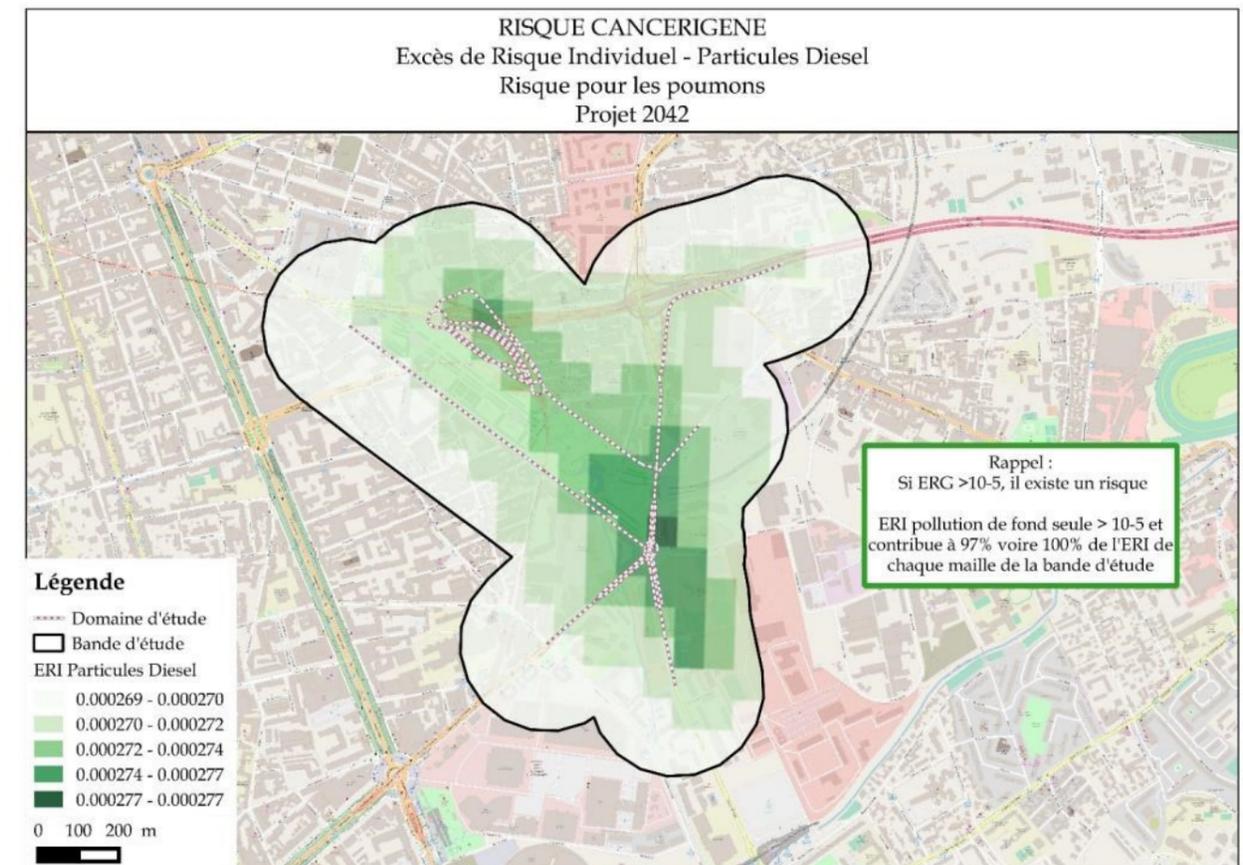
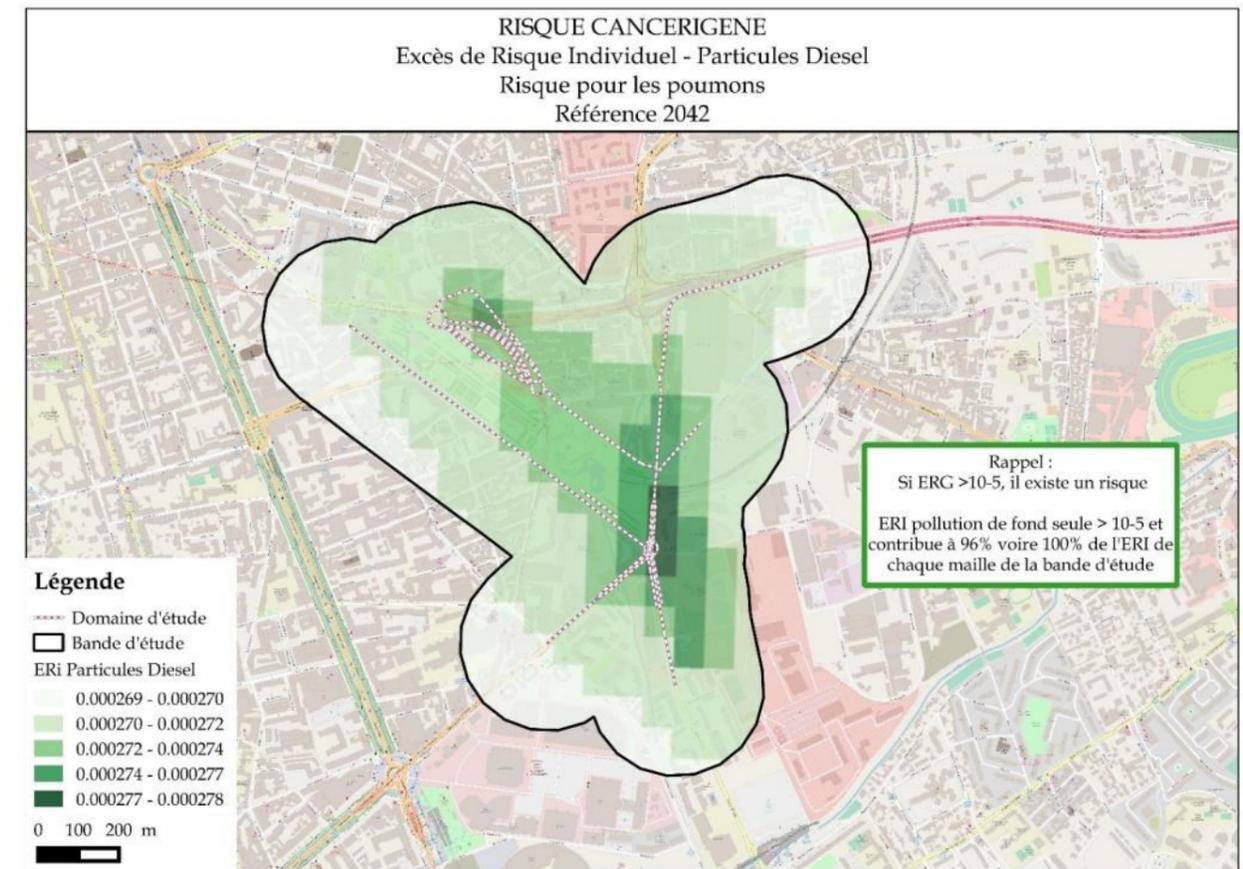
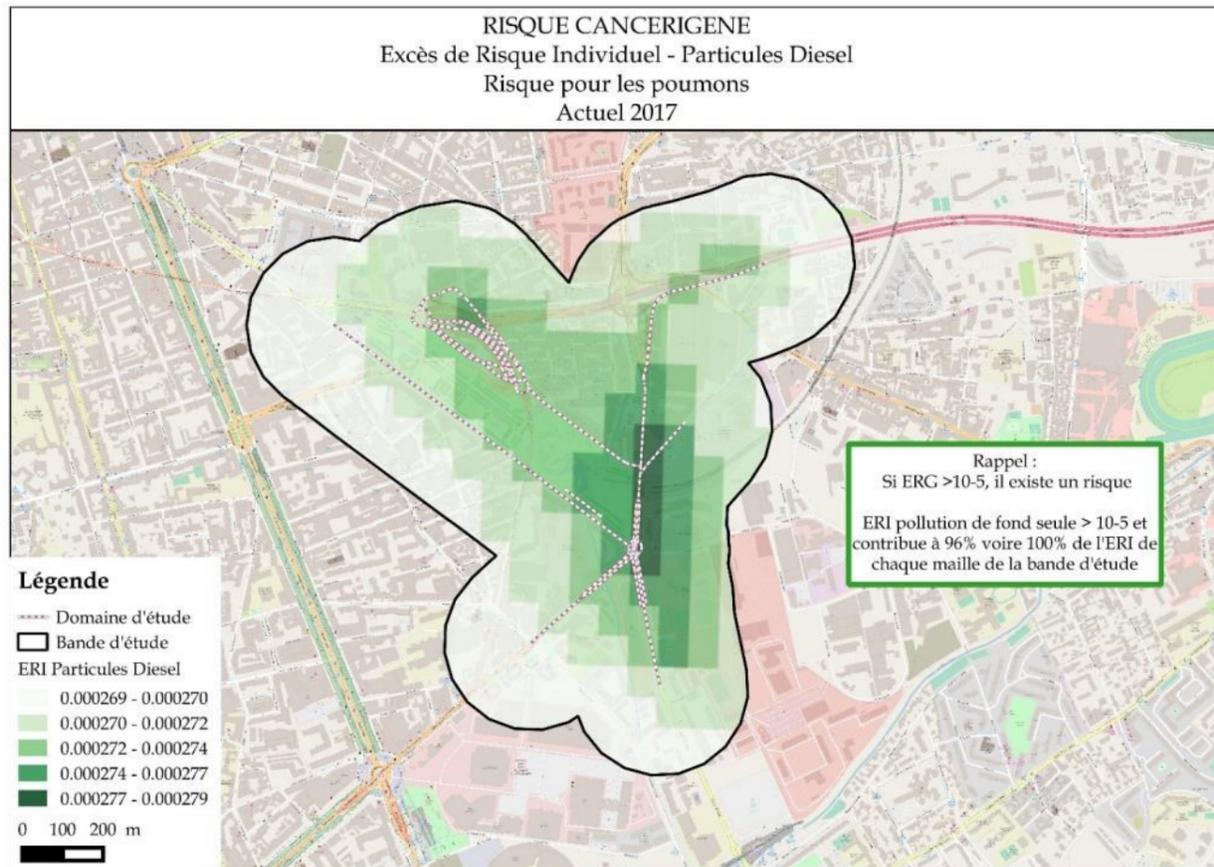
Seules les représentations graphiques des ERI présentant un risque sont représentés. Notons également que les situations étant complètement identiques quel que soit l'horizon d'étude, une seule carte est donc présentée pour le Chrome, et le benzo(a)pyrène.

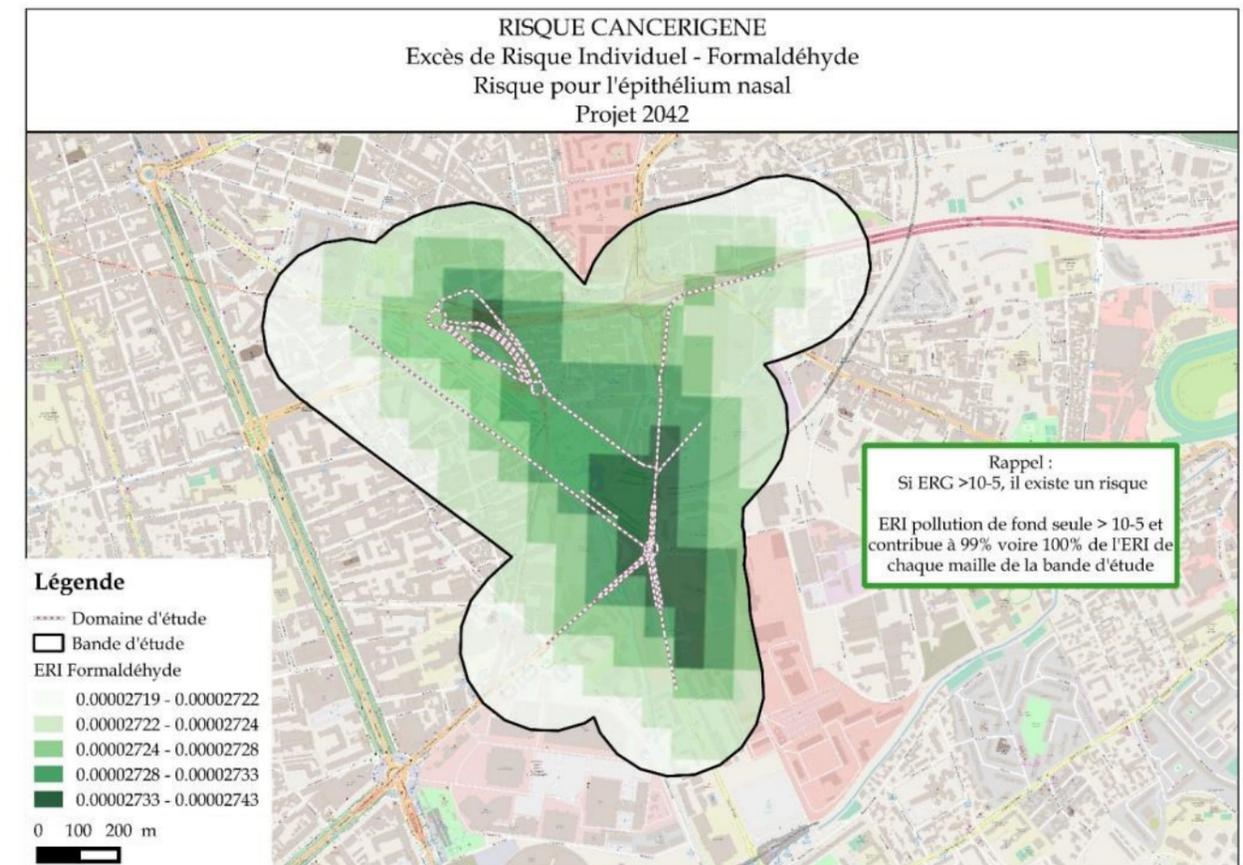
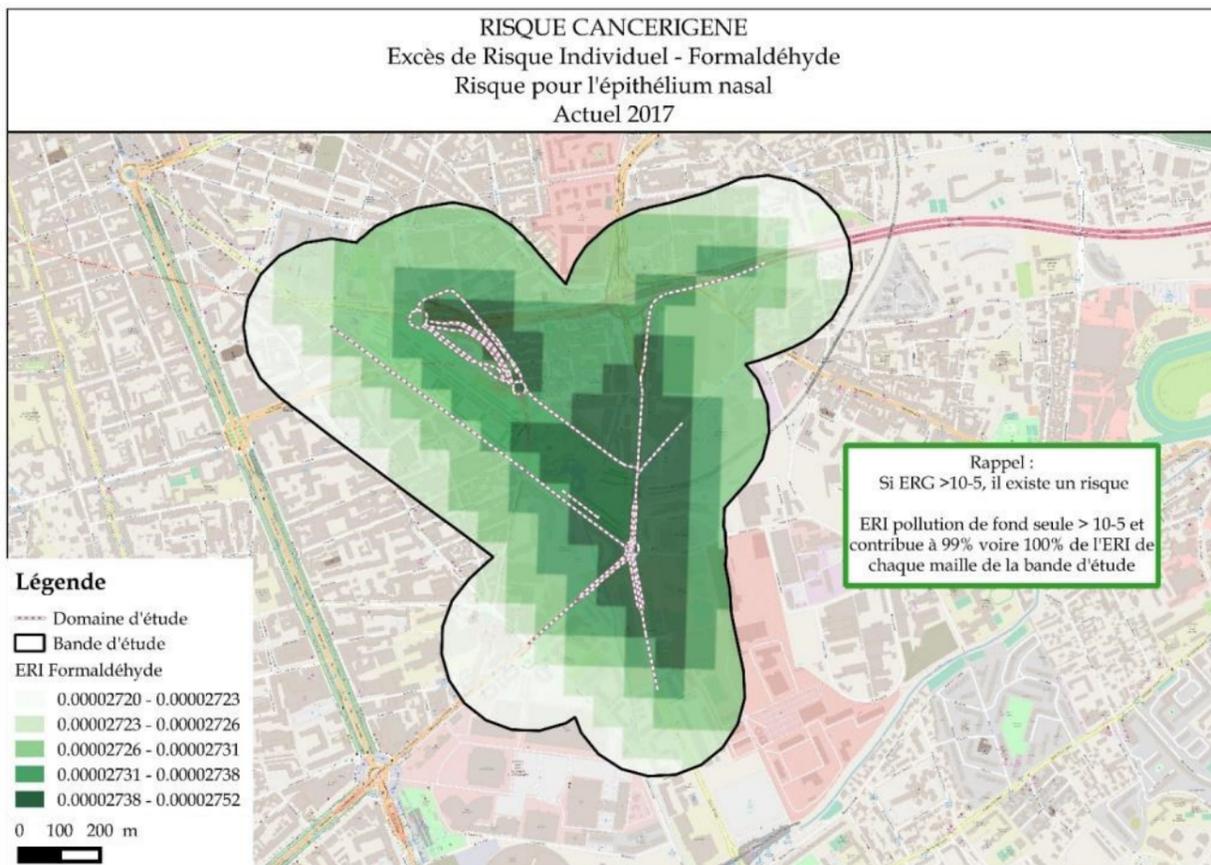
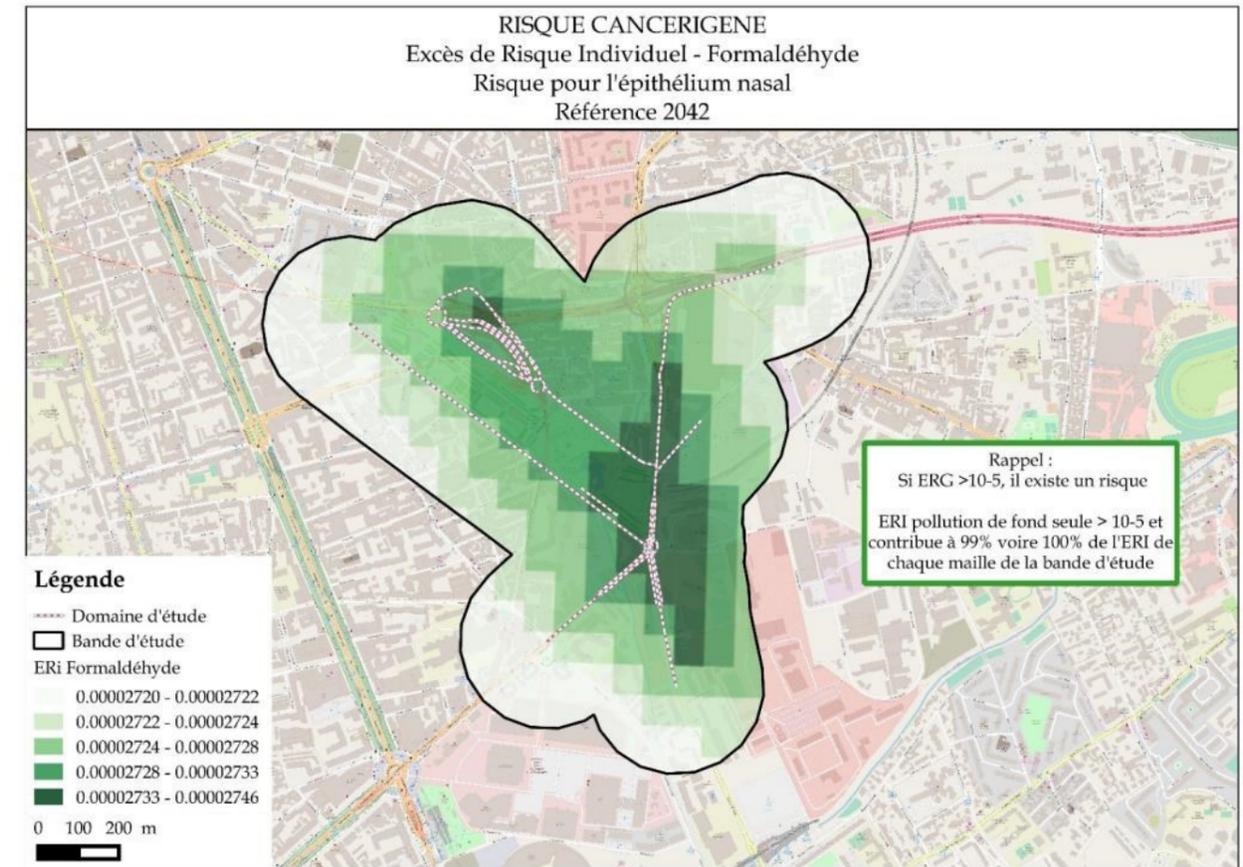
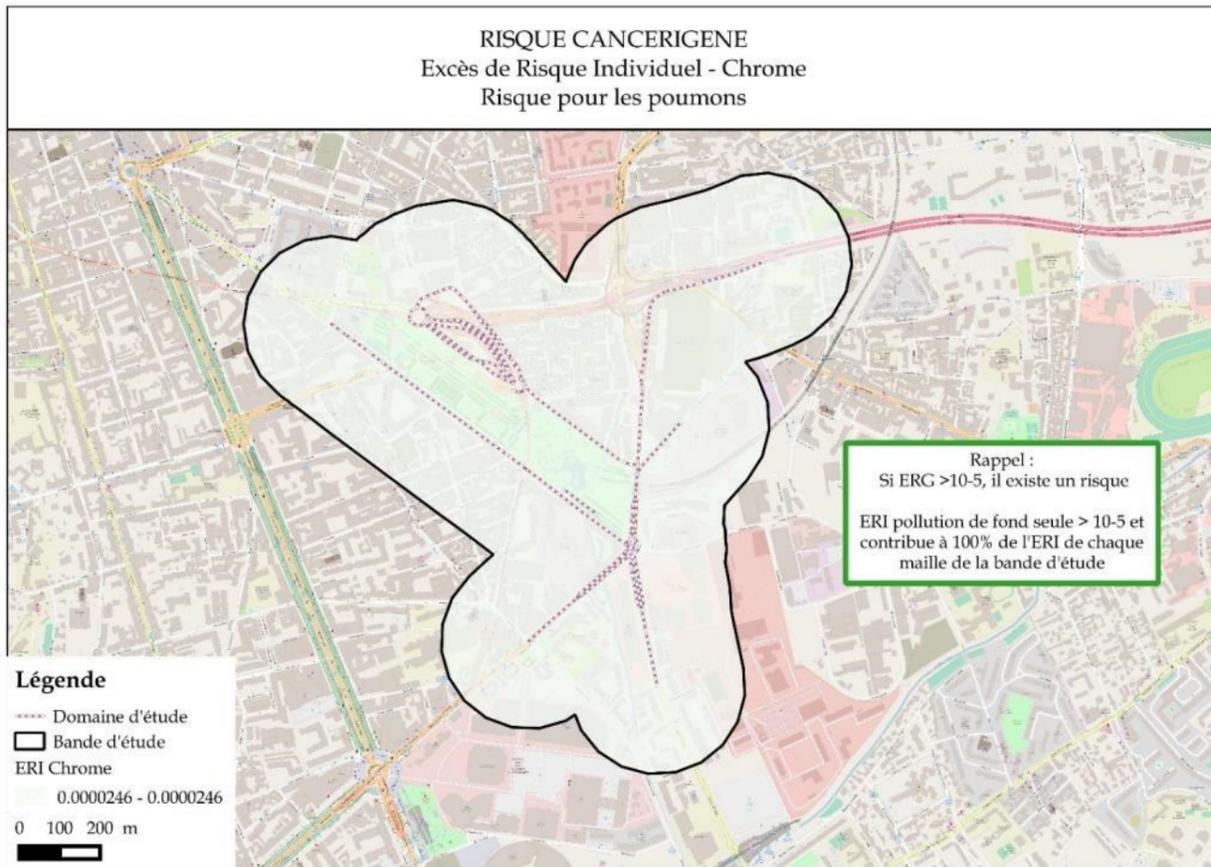
Il est également présenté l'excès de risque global dans la bande d'étude, en tenant compte de la pollution de fond mais également sans.

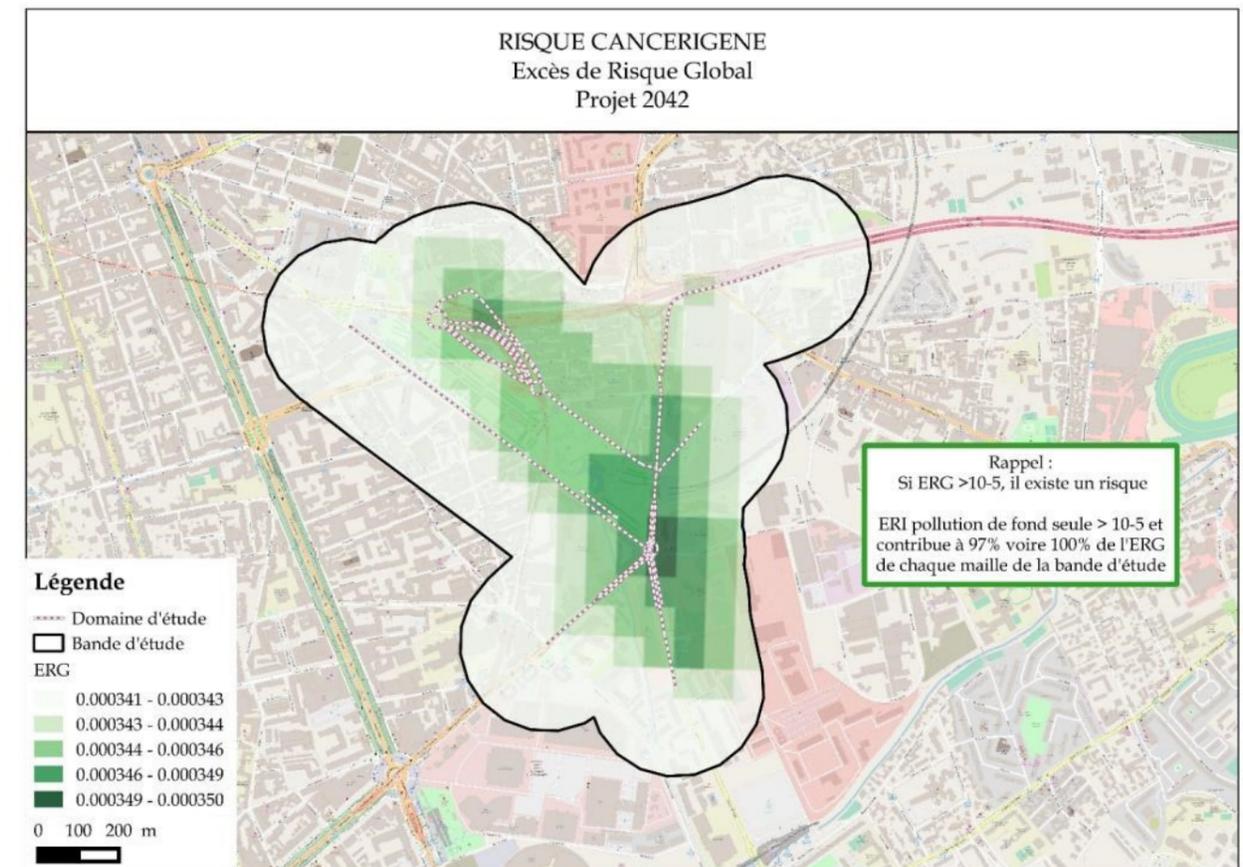
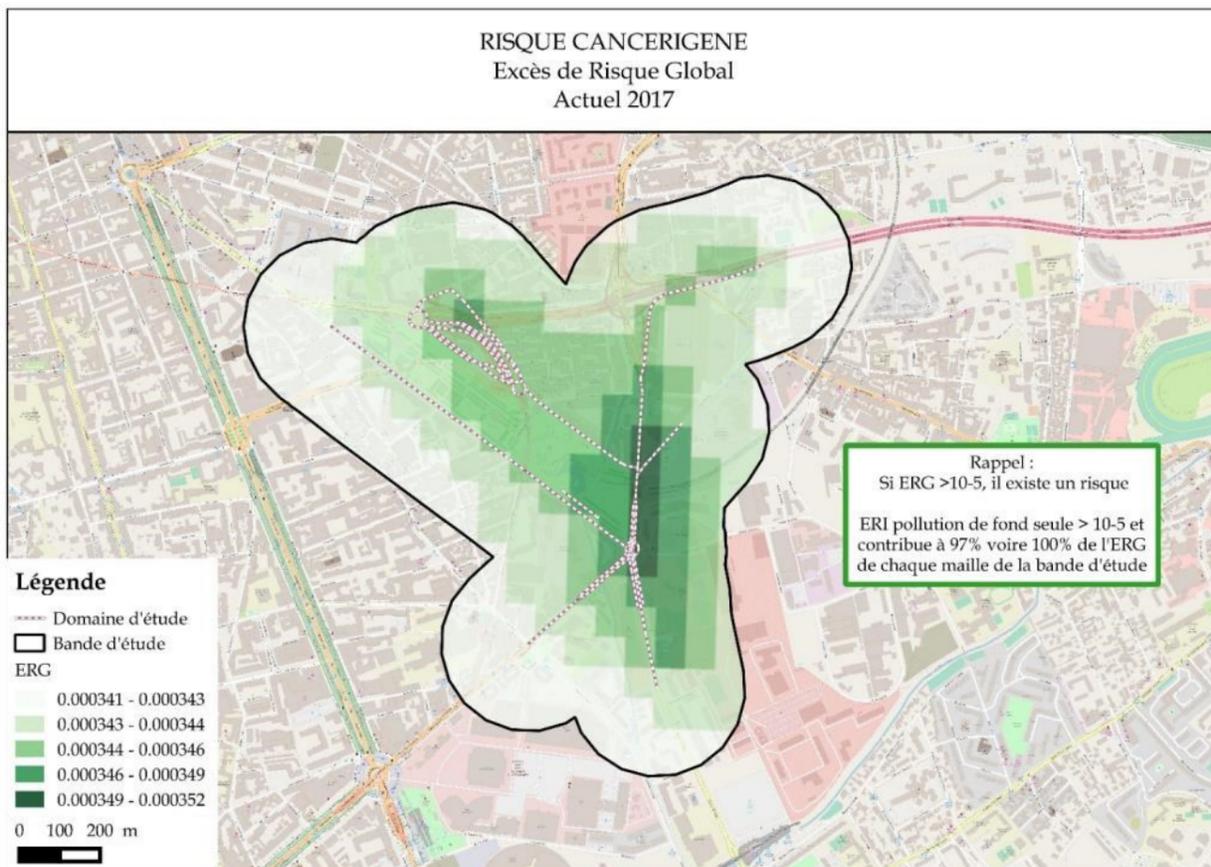
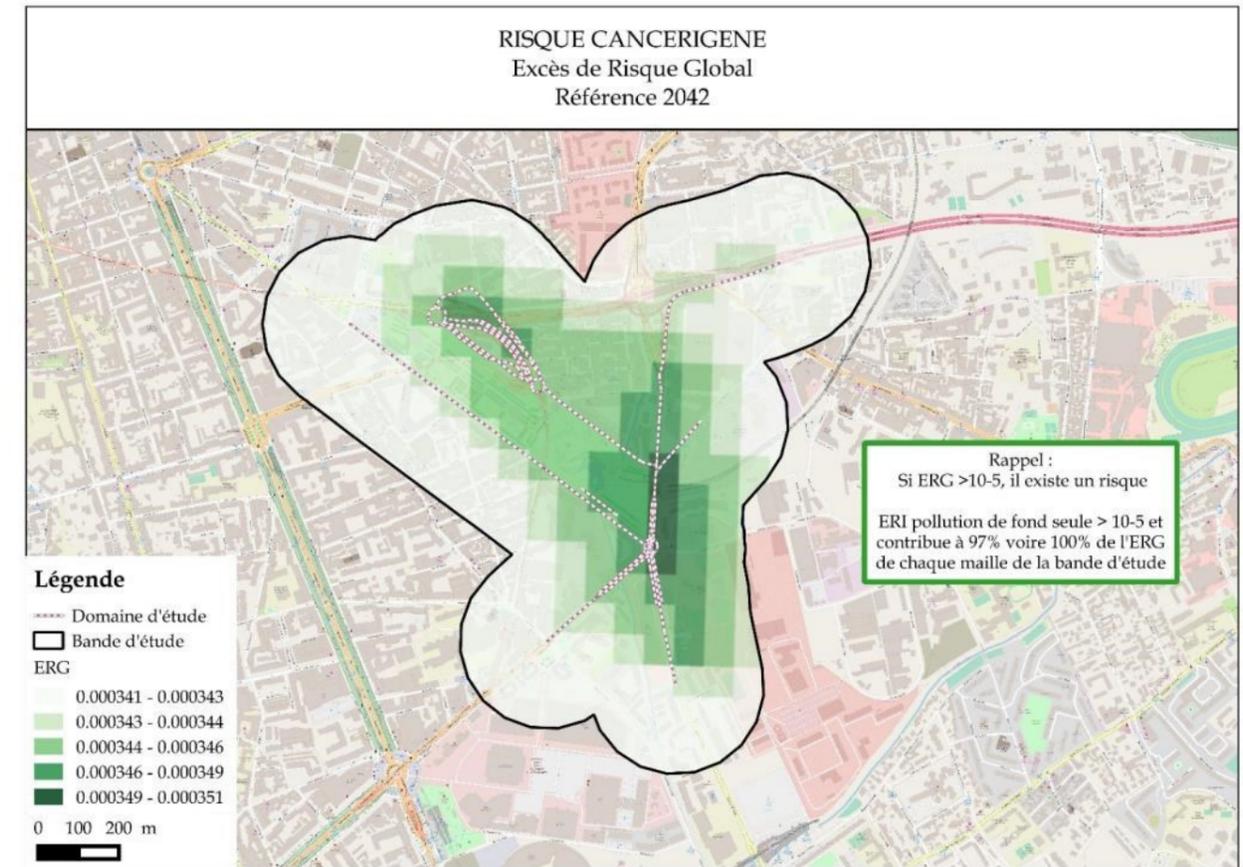
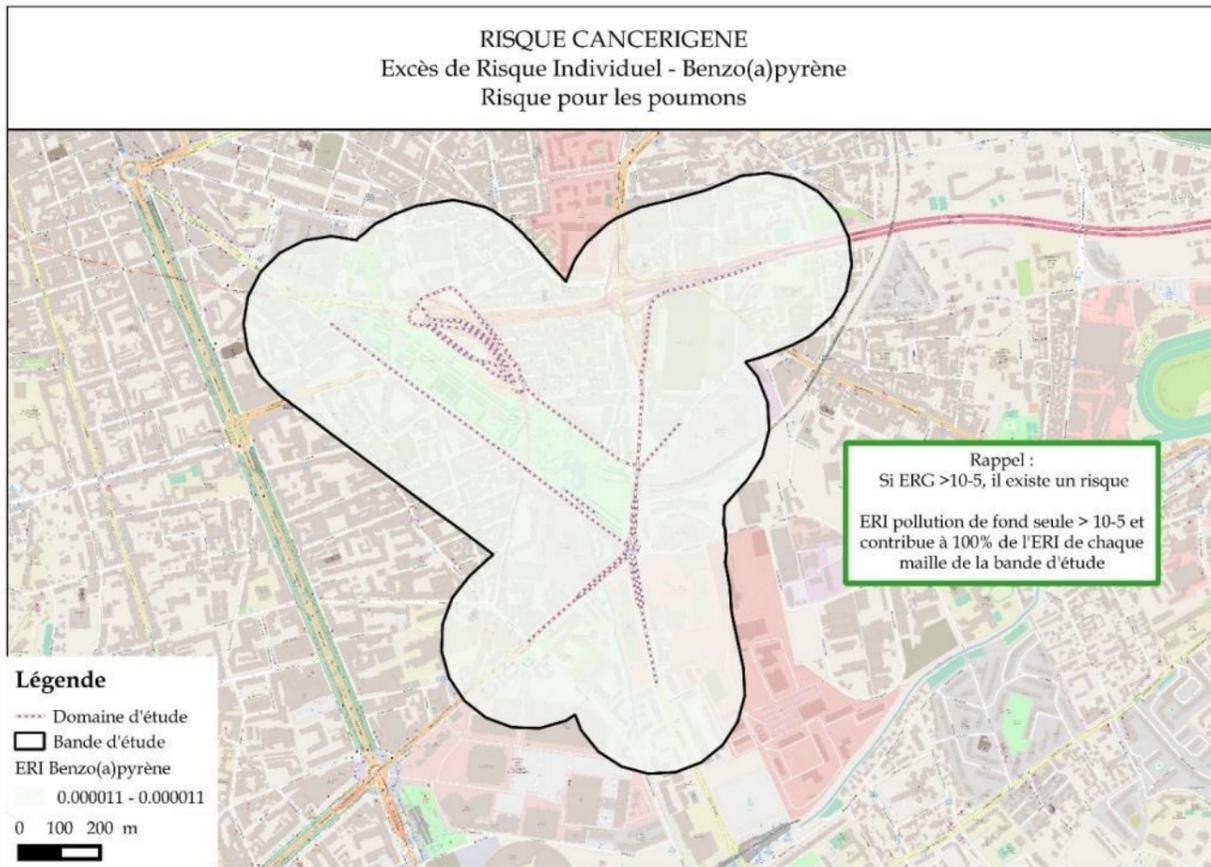
TABLEAU 13 : ERI MAX POUR LE RISQUE CANCÉRIGÈNE DANS LA BANDE D'ÉTUDE

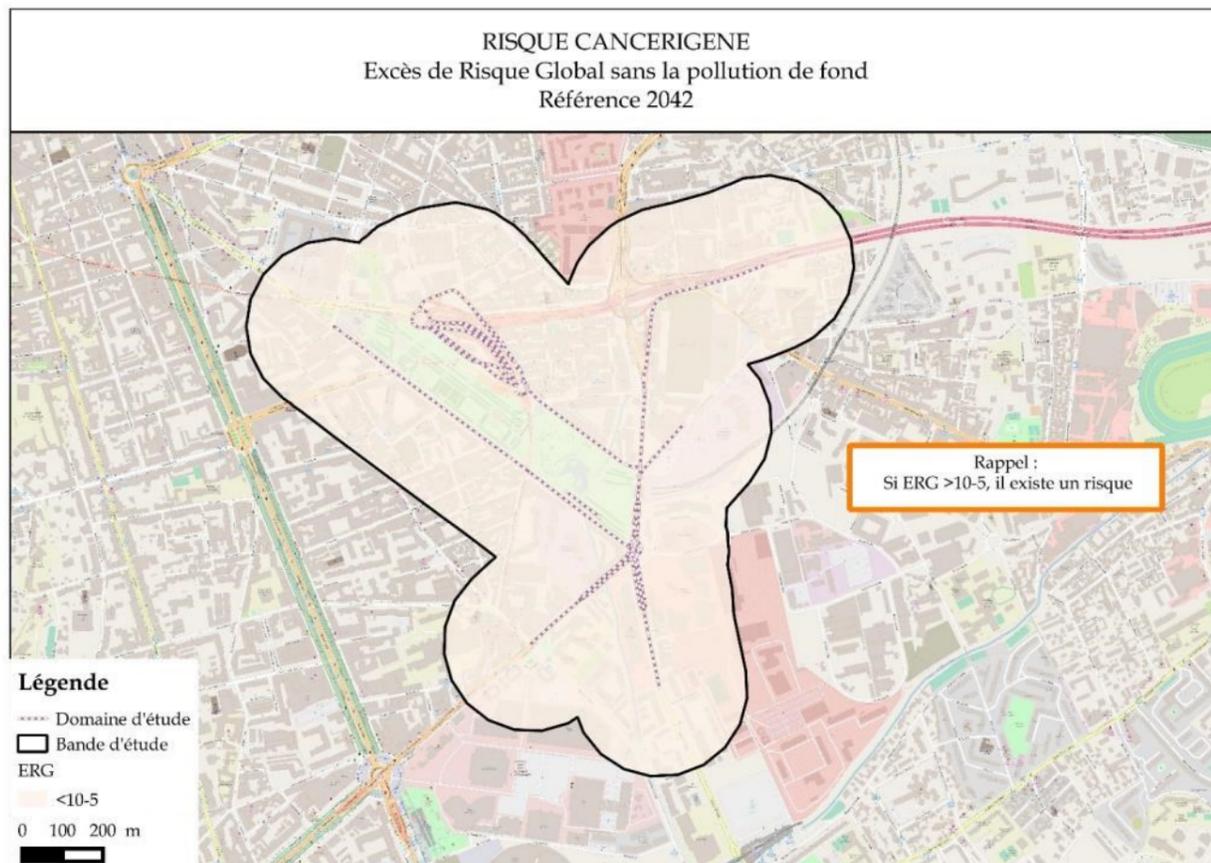
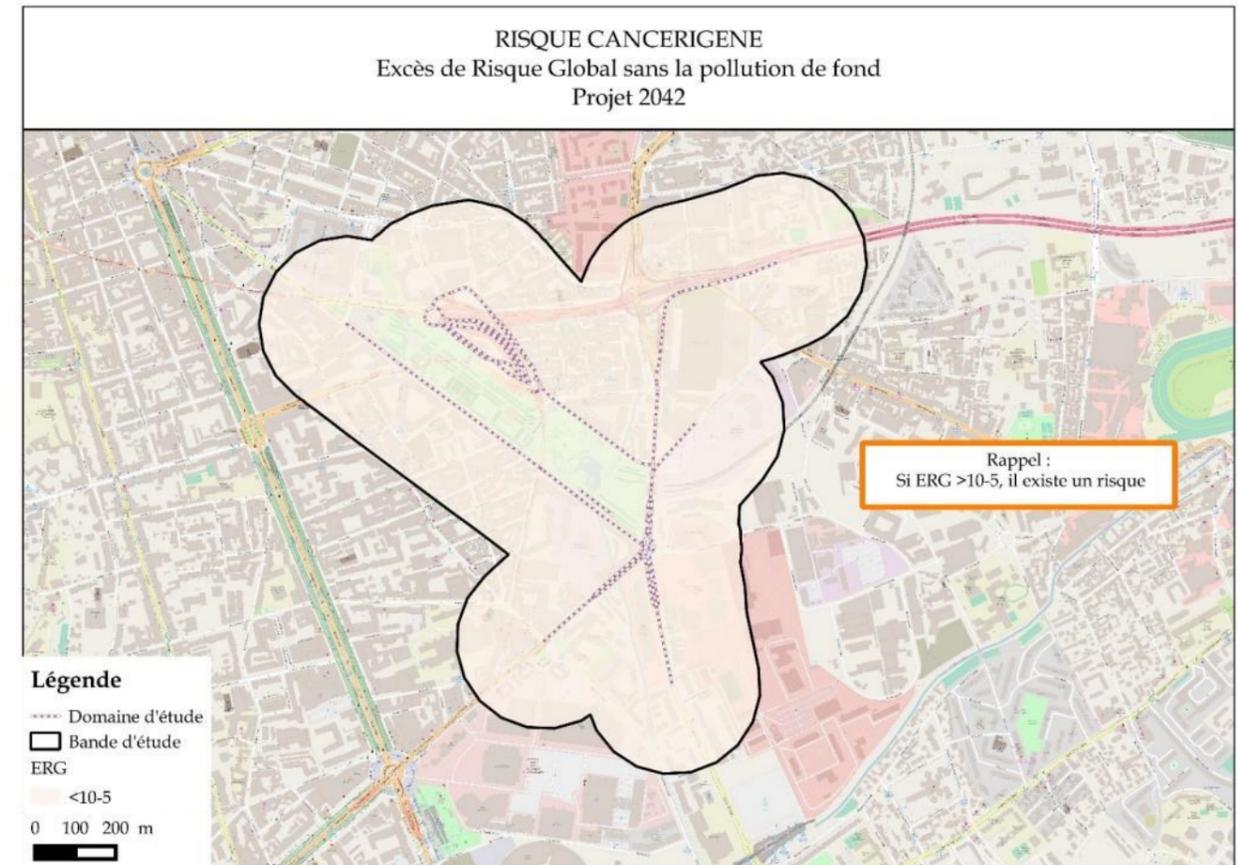
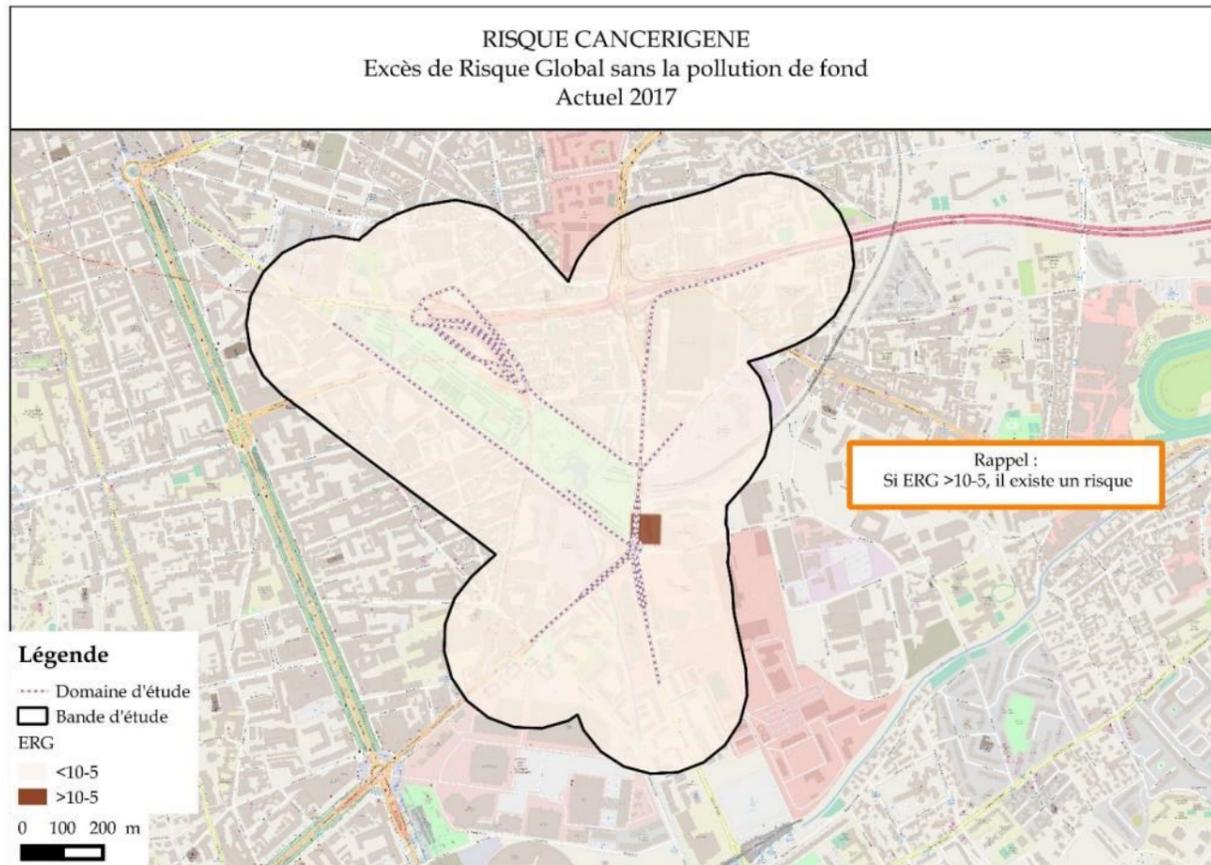
	Fonction atteinte	ERI pollution de fond seule	Type de valeur	ERI max
Benzène	Sang	2.46E-06	Actuel	2,53E-06
			Sans Projet	2,51E-06
			Avec Projet	2,50E-06

	Fonction atteinte	ERI pollution de fond seule	Type de valeur	ERI max
Particules diesel	Poumons	2.68E-04	Actuel	2,79E-04
			Sans Projet	2,78E-04
			Avec Projet	2,77E-04
Chrome	Poumons	2.46E-05	Actuel	2,46E-05
			Sans Projet	2,46E-05
			Avec Projet	2,46E-05
Formaldéhyde	Epithélium nasal	2.72E-05	Actuel	2,75E-05
			Sans Projet	2,75E-05
			Avec Projet	2,74E-05
1,3 butadiène	Sang	3.59E-06	Actuel	3,63E-06
			Sans Projet	3,62E-06
			Avec Projet	3,62E-06
Acétaldéhyde	Epithélium nasal	2.78E-06	Actuel	2,81E-06
			Sans Projet	2,80E-06
			Avec Projet	2,80E-06
Nickel	Poumons	3.31E-07	Actuel	3,31E-07
			Sans Projet	3,31E-07
			Avec Projet	3,31E-07
Cadmium	Poumons	3.55E-08	Actuel	3,55E-08
			Sans Projet	3,55E-08
			Avec Projet	3,55E-08
Benzo(a)pyrène	Poumons	1.10E-05	Actuel	1,10E-05
			Sans Projet	1,10E-05
			Avec Projet	1,10E-05
Arsenic	Poumons	3.63E-07	Actuel	3,63E-07
			Sans Projet	3,63E-07
			Avec Projet	3,63E-07
Excès de Risque Global		3.41E-04	Actuel	3,52E-04
			Sans Projet	3,51E-04
			Avec Projet	3,50E-04









L'analyse des Excès de risque par inhalation s'effectue par comparaison avec l'Excès de risque « acceptable » pris égal à 10^{-5} , soit 1 risque sur 100 000 de développer un cancer au cours de sa vie entière suite à une exposition à la pollution par inhalation (30 ans d'exposition pour le scénario choisi dans l'étude). Les ERI supérieurs à 10^{-5} sont indiqués dans le tableau ci-avant.

Concernant les particules diesel, le chrome, le formaldéhyde et le benzo(a)pyrène, les ERI calculés sont tous supérieurs au seuil d'acceptabilité de 10^{-5} . Toutefois, il est à noter que :

- La pollution de fond entraîne un dépassement du seuil d'acceptabilité en étant responsable à elle seule d'ERI supérieurs à 10^{-5} ,
- Sans la pollution de fond, les Excès de Risques Globaux du scénario avec projet sont tous inférieurs à 10^{-5} . Il n'existe pas d'excès de risque global en situation de référence ni en situation projet.

Comme pour le calcul des ratios de danger, les excès de risque entraînant une exposition à la pollution atmosphérique non acceptable sont dus à la pollution de fond qui ne dépend pas uniquement des émissions routières mais du contexte local des niveaux de pollution atmosphérique.

V.5. Analyses et incertitudes

L'incertitude affectant les résultats de l'évaluation des risques provient des différents termes et hypothèses de calcul, des défauts d'information ou de connaissance, et de la variabilité vraie des paramètres utilisés dans l'étude (ceci réfère à la plus ou moins grande amplitude de valeurs numériques que peuvent prendre ces paramètres, par exemple le nombre de jours par an passé hors du domicile par les résidants). L'analyse des incertitudes a pour objectif de comprendre dans quel sens ces divers facteurs peuvent influencer l'évaluation des risques.

Certains éléments d'incertitude étant difficilement quantifiables (interaction ou additivité des effets ? Evolution des modes de vie ? etc), seul un jugement qualitatif peut généralement être rendu. Néanmoins, nous avons essayé de classer ces incertitudes suivant qu'elles ont pour effet de sous-estimer ou de surestimer les risques calculés; les incertitudes dont l'effet est inconnu seront présentées à part.

V.5.1. Incertitudes ayant pour effet de sous-estimer les risques

Sont listées ici les incertitudes dont on peut dire de façon quantitative ou qualitative qu'elles ont pour effet de sous-estimer les risques.

- ❖ La présente ERS a porté sur 16 substances recommandées par le groupe d'experts pilotés par l'InVS. D'après le rapport "Sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières", réalisé par ce groupe de travail [InVS, 2004], d'autres substances sont émises par les infrastructures routières. La non- prise en compte de ces polluants dans la présente ERS constitue une sous-estimation des risques calculés. Cependant, le groupe d'experts a réalisé sa sélection de polluants en calculant pour chaque substance, un score associant les émissions (facteur d'émission) et la toxicité (VTR) de la substance, et en classant dans un 2ème temps, tous les scores obtenus, de façon à hiérarchiser les polluants par ordre de dangerosité intrinsèque décroissante. Par conséquent, les substances toxiques étudiées dans la présente ERS sont à priori les plus pertinentes pour l'estimation des expositions et/ou des risques potentiels liés au trafic.
- ❖ Dans la présente étude, une addition des QD des substances pouvant entraîner des effets respiratoires a été réalisée, et ce, de façon à tenir compte de l'additivité potentielle des substances entraînant des effets identiques suivant le même mécanisme d'action. Cependant, les risques sanitaires liés aux mélanges de composés chimiques n'ont pas réellement été pris en compte dans l'ERS ; ceci constitue une sous-estimation des risques déterminés. Comme le rappelle l'INERIS dans le rapport "Evaluation des risques sanitaires liés aux mélanges de natures chimiques" [INERIS, 2006], la démarche d'ERS telle qu'elle est appliquée actuellement en France, fournit des résultats pour chaque substance prise individuellement. D'après l'INERIS, le cadre des pratiques méthodologiques proposées par l'US-EPA et l'ATSDR pour évaluer les risques sanitaires liés à des mélanges de polluants chimiques ne remet pas en cause à court terme les pratiques actuelles menées dans les études d'impact des installations classées. D'autre part, les outils actuellement disponibles pour permettre de quantifier les risques pour la santé liés aux mélanges sont encore très limités.

- ❖ La voie d'exposition par contact cutané n'a pas été étudiée dans le cadre de cette ERS : ceci est à l'origine d'une sous-estimation des risques déterminés. Compte tenu du manque actuel de connaissances sur l'estimation des risques liés à cette voie d'exposition (en particulier l'absence de VTR et les incertitudes associées à la transposition de VTR orales ou respiratoires pour construire des VTR pour la voie cutanée comme le rappelle la Circulaire n°DGS/SD7B/2006/234 du 30 mai 2006), l'absorption cutanée des gaz et particules en suspension dans l'air est difficile à prendre en compte.

V.5.2. Incertitudes ayant pour effet de surestimer les risques

- ❖ Dans notre étude, en l'absence de données de budget espace-(activités)-temps disponibles localement et de données sur les concentrations d'exposition correspondant aux temps passés en dehors du domicile ou du lieu de travail, nous avons ramené par défaut la valeur de la fraction T_i (correspondant au temps passé à la concentration C_i) à 1. Pour déterminer une valeur plus « réaliste » de T_i , il faudrait mener une enquête localement pour déterminer le temps passé en dehors de la zone d'étude. Ce travail a été réalisé dans une étude française et a montré que dans le cas de cette étude en particulier, les résultats de l'ERS pouvaient alors être minorés de 30% par rapport à une hypothèse « 100% du temps passé au domicile » [Boudet, 1999].
- ❖ Dans le cadre de cette étude, l'exposition aiguë des populations aux polluants rejetés par les axes routiers a été considérée. Elle correspond à une exposition à des pics de concentrations de courte durée (généralement de quelques heures). Nous avons supposé pour ce type d'exposition que la fréquence d'exposition était égale à 1. Or, il est possible que des individus soient absents de la bande d'étude durant ces pics de concentration.
- ❖ Pour le calcul des QD aigus liés aux émissions des axes routiers, ce sont les percentiles 100 (horaires ou journaliers) qui ont été considérés. Or, comme cela a été indiqué précédemment, il s'agit de la valeur maximale rencontrée pendant une heure (ou une journée) : la probabilité d'apparition de ces valeurs est donc faible.
- ❖ Pour les situations SANS projet 2042 et AVEC projet 2042, les niveaux de pollution de fond pris en compte dans la modélisation de la dispersion pour estimer les risques cumulés, les mêmes niveaux que ceux pris pour l'état actuel 2017. Or, il est probable que dans une dizaine d'années, les concentrations en polluants dans l'air soient inférieures à celles observées aujourd'hui. En effet, d'après l'instruction-cadre du 25 mars 2004 relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport, les émissions polluantes devraient globalement diminuer de 5,5% par an sur la période 2000 - 2020 pour les véhicules légers, et de 6,5% pour les poids lourds, les bus et les cars.

V.5.3. Incertitudes dont l'effet sur les risques est inconnu

- ❖ L'établissement de Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR), pour la population entière et pour une durée d'exposition aiguë ou chronique, à partir d'études épidémiologiques (principalement en milieu professionnel) ou animales, et présentant des conditions particulières d'exposition (doses administrées, durée et voie d'exposition, etc.) induit un grand nombre d'incertitudes qu'il est difficile de quantifier. Dans cette évaluation des risques, nous avons appliqué les recommandations du groupe d'experts piloté par l'InVS pour le choix des VTR à retenir pour la quantification des risques (sauf pour le choix de la VTR associée à des expositions respiratoires chroniques à l'acroléine). Cependant, il faut noter que pour certains polluants, le groupe d'experts recommande de prendre en compte une valeur guide. Or, aucune quantification des risques sanitaires n'est possible avec une telle valeur (qui est construite à partir de différents critères : toxicité, faisabilité du respect de la valeur, etc.), seule une comparaison avec le niveau d'exposition peut être réalisée (cas de l'exposition chronique pour les effets à seuil de dose au NO₂, au cadmium et au plomb).
- ❖ Concernant les données humaines d'exposition, nous avons privilégié, quand cela était possible, les données les plus adaptées au contexte d'étude (données en population française, récentes, etc.). Cependant, l'utilisation de données d'exposition mesurées sur un échantillon (par définition, limité) d'individus, ou estimées, induisent nécessairement des incertitudes par rapport aux données d'exposition réelles. Ces incertitudes portent notamment sur la fréquence d'exposition F, le taux d'exposition Ti, la durée d'exposition DE, les rations alimentaires et les taux d'autoconsommation.
- ❖ Dans la présente ERS, il a été considéré que les concentrations atmosphériques en polluants à l'intérieur des bâtiments étaient identiques aux concentrations à l'extérieur des locaux et issues soit de la modélisation de la dispersion, soit des campagnes de mesures. Ceci constitue également une incertitude sur les risques déterminés.
- ❖ Pour estimer l'impact du projet, une étude de dispersion, basée sur la modélisation des phénomènes d'émission et de dilution dans l'atmosphère des polluants, a été réalisée. Or par définition, la modélisation simplifie les phénomènes et génère des incertitudes. Ces incertitudes sont liées d'une part au modèle et à sa conception, et d'autre part aux données d'entrée (conditions météorologiques, scénarios d'émission, pollution de fond, etc.).
- ❖ Les risques cumulés qui ont été calculés correspondent à des valeurs indicatrices, car ils ont été déterminés à partir de résultats de modélisation de la dispersion disponibles auxquels a été ajouté un niveau de fond « global »

VI. MESURES COMPENSATOIRES

VI.1. Mesures envisageables pour réduire l'impact sur la qualité de l'air

La pollution atmosphérique liée à la circulation routière peut être limitée de deux manières :

- ❖ Réduction des émissions de polluants à la source,
- ❖ Intervention au niveau de la propagation des polluants.

Les émissions polluantes dépendent de l'intensité des trafics, de la proportion des poids lourds, de la vitesse des véhicules et des émissions spécifiques aux véhicules. Ainsi, outre par une modification technique sur les véhicules (par ailleurs en évolution permanentes), on peut limiter les émissions en modifiant les conditions de circulation (limitation des vitesses, restrictions pour certains véhicules...). Dans le cas du présent projet, ces aspects semblent difficilement applicables.

Par ailleurs, plusieurs mesures peuvent être mises en place, dans les projets routiers, pour jouer un rôle dans la limitation de la pollution atmosphérique à proximité d'une voie. Les remblais, la végétalisation des talus et les protections phoniques limitent la dispersion des polluants en facilitant sa dilution et sa déviation. De plus, la diffusion de la pollution particulaire peut, quant à elle, être piégée par ces écrans physiques (protection phonique) et végétaux (plantation).

Dans le cas présent, la végétalisation aux abords des ouvertures de l'ouvrage (voir annexe 8.4) et la mise en place de revêtements acoustiques (voir annexe 8.6) permettront de limiter la diffusion de la pollution.

VI.2. Mesures envisagées pour réduire l'impact sur la santé

Les résultats de la présente étude sanitaire montrent que les émissions atmosphériques dans la bande d'étude, actuelles et futures (avec ou sans aménagement), peuvent être à l'origine d'effets sur la santé des populations présentes dans la bande d'étude, et principalement à proximité des axes à haut niveau de trafic (Rabatau, Schloësing, Cantini). Bien qu'il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables à la pollution atmosphérique générée par le trafic automobile, des actions peuvent toutefois être envisagées pour limiter cette pollution, et de ce fait, les risques pour la santé des personnes exposées.

Les actions énoncées précédemment pour réduire les émissions polluantes à la source et limiter la dispersion de ces polluants participent à la réduction des risques pour la santé des individus.

VII. APPRECIATION DES IMPACTS DU PROJET EN PHASE CHANTIER

La phase travaux de tout chantier est source de production de poussières.

Les sources de poussières concernent essentiellement :

- ✓ les mouvements des engins mobiles d'extraction pour le creusement de la tranchée couverte,
- ✓ la circulation des engins de chantiers (pour le chargement et le transport),
- ✓ les travaux d'aménagement et de construction.

Les matériaux excavés seront humidifiés, compactés et directement évacués hors du chantier, réduisant ainsi fortement le risque d'émission de poussières.

En outre, les poussières émises par les engins d'extraction diminueront notablement au fur et à mesure des travaux. La méthode du travail en taupe limite également sur une section du projet les émissions de poussières.

Pour limiter ces nuisances, l'arrosage des zones sensibles afin de limiter l'envol des poussières devra être fait, notamment si les travaux sont réalisés en période estivale. Les rues adjacentes seront nettoyées si besoin (balayeuse-aspiratrice).

Le lavage des roues des engins de chantier sera prévu pour limiter le dépôt de boues sur la voirie.

En ce qui concerne l'émission des gaz d'échappement issus des engins de chantier, celle-ci sera limitée, car les véhicules utilisés respecteront les normes d'émission en vigueur en matière de rejets atmosphériques.

VIII. ANALYSE DES COÛTS COLLECTIFS

VIII.1. Coûts liés à la pollution de l'air

Monétarisation des émissions directes en euro 2010	Coût total	Impact
Actuel 2017	2 434 €	-
Référence 2042	1 369 €	-43,7% / Actuel
Projet 2042	1 272 €	-7,1% / Référence

Les coûts liés aux émissions directes diminuent de 44% entre la situation actuelle et la situation de référence 2042.

Entre la situation projet 2042 et la situation de référence 2042, le coût des émissions liées à la pollution de l'air diminue de 7%, induit par la mise en place du tunnel de Schloesing entraînant ainsi la diminution de la fréquentation de certains axes très empruntés et qui se voient délestés par la mise en place du tunnel.

VIII.2. Coûts collectifs liés à l'effet de serre additionnel

€ 2 010	Coût journalier en €	Impact
Actuel 2017	1 291 €	-
Référence 2042	4 212 €	226,4 % / Actuel
Projet 2042	3 853 €	-8,5 % / Référence

Les coûts liés à l'effet de serre additionnelle augmentent de 226% entre la situation de référence 2042 et l'état actuel 2017. Cela est directement lié à l'augmentation du coût de la tonne de CO₂.

Entre la situation de référence 2042 et la situation projet 2042, on observe une baisse du coût journalier de plus de 8,5%, directement lié à la mise en place du projet de tunnel.

VIII.3. Coûts collectifs globaux

€ 2 010	Coût journalier en €	Impact
Actuel 2017	3 725 €	-
Référence 2042	5 581 €	49,8 % / Actuel
Projet 2042	5 126 €	-8,2 % / Référence

D'une manière globale, les coûts augmentent de 50% au fil de l'eau entre la situation actuelle et la situation future sans projet 2042.

La réalisation du tunnel de Schloesing induit une réorganisation du trafic qui se traduit par une diminution de 8 % des coûts collectifs globaux journalier par rapport à la situation sans projet 2042.

IX. CONCLUSION

Le présent document reprend toutes les phases d'une étude de niveau I.

Inventaires des données existantes de la qualité de l'air

L'analyse des données existantes sur la qualité de l'air et des mesures in-situ a permis d'identifier les concentrations de fond sur Marseille des principaux polluants atmosphériques.

Polluants	Concentrations	Polluants	Concentrations
NO ₂	16 µg/m ³	Arsenic	0,4 ng/m ³
PM10	24 µg/m ³	Cadmium	0,05 ng/m ³
PM2.5	20 µg/m ³	Nickel	3,5 ng/m ³
Benzène	1,2 µg/m ³	Chrome	5,2 ng/m ³
Monoxyde de carbone	300 µg/m ³	Plomb	3,1 ng/m ³
Dioxyde de soufre	3 µg/m ³	formaldéhyde	5,3 µg/m ³
acétaldéhyde	3,2 µg/m ³	Acroléine	< 0,5 µg/m ³
1-3 Butadiène	0,7 µg/m ³	Benzo(a)pyrène	0,32 ng/m ³

Calcul des émissions

Les calculs des émissions polluantes et de la consommation énergétique ont été réalisés à l'aide de la méthodologie COPERT IV. L'étude montre que le projet de tunnel entraîne globalement une diminution des émissions et de la consommation énergétique.

Modélisation et indice IPP

La réorganisation du trafic et l'utilisation du tunnel de Schloësing entraîne une amélioration de la qualité de l'air dans une grande partie de la bande d'étude :

- à l'ouest de la bande d'étude, le long de l'avenue Jules Cantini,
- le grand secteur nord-est de la bande d'étude : de Cap Est à Rabatau nord.

On note une dégradation locale au droit de l'ouverture du tunnel au niveau du parc du 26^{ème} centenaire.

Evaluation des risques sanitaires au droit des sites sensibles

L'évaluation sanitaire s'est intéressée aux effets cancérigènes et non cancérigènes de l'exposition chronique de la population par voie respiratoire uniquement sur l'ensemble de la bande d'étude. On distingue les polluants à effets systémiques, c'est-à-dire ceux portant atteinte à une fonction biologique, des polluants cancérigènes.

Concernant les atteintes systémiques, les particules présentent des ratios de danger supérieurs à 1.

Concernant les particules diesel (atteintes de l'appareil respiratoire), avec des ratios de danger proche de 4, des risques d'atteintes de la fonction respiratoire sont présents en exposition systémique.

Ces conclusions doivent être perçues bien plus à partir de la pollution de fond existante et demeurant sur Marseille, que sur les seuls effets du projet.

Dix polluants ont été étudiés pour leur caractère cancérigène. La co-exposition chronique de la population à ces dix polluants aboutit à des excès de risques de cancer, tous types de cancer confondus, supérieurs au seuil d'acceptabilité de 10⁻⁵. L'excès de risque global lié à la pollution de fond seule s'élève à 3,42.10⁻⁴ ce qui contribue pour 99% à l'ERG global dans chaque maille. Sans les concentrations de fond, l'ERG est inférieur à 10⁻⁵. L'impact du projet est donc négligeable, au regard de la pollution de fond.

En intégrant l'ensemble des polluants émis par le trafic routier et les concentrations de fond, il ressort que la zone d'étude présente des risques sanitaires liés à l'inhalation. Ce constat découle de concentrations de fond en polluants élevées sur l'aire d'étude (qui dépendent de l'ensemble des activités de la région). Pour l'état futur, il convient de pondérer les résultats. Tout d'abord, il a été fait hypothèse que les concentrations de fond restent constantes de 2017 à 2042. Cette hypothèse est forte et majorante. En effet, la prise en compte des problématiques sanitaires de la pollution atmosphérique par les pouvoirs publics entraîne des mesures qui vont dans le sens d'une diminution des teneurs actuelles. Ce constat a été fait pour le plomb et le SO₂ qui après avoir été des problématiques importantes, ne sont plus présents dans l'air ambiant à des teneurs significatives. Or l'évaluation des risques a montré que les risques proviennent pour une très large part de la concentration de fond, une réduction de celle-ci entrainera dans le futur une diminution des risques sanitaires. Cette démarche ne concerne pas uniquement le projet mais l'ensemble de la collectivité sur d'autres thématiques sensibles comme le chauffage urbain. Un autre point impactant fortement l'évaluation des risques sanitaires est le choix des valeurs toxicologiques de références. Certains composés n'en disposant pas, des valeurs guides ont été sélectionnées. La recherche scientifique sur ces composés permettra de fixer des valeurs plus en adéquation avec leurs effets sanitaires mais qui dans l'état actuel des connaissances ne permet pas de déterminer si cela évoluera dans le même sens d'une amélioration ou d'une dégradation des risques calculés. De plus, certaines valeurs toxicologiques de référence sont très prudentes, ce qui entraîne un constat de risque même pour des situations peu polluées (particules diesel).

Monétarisation

La monétarisation du projet montre une diminution des coûts collectifs liés à la pollution (7%) et une diminution des coûts collectifs liés aux gaz à effet de serre (8,5%) par rapport au scénario sans projet 2042 (scénario de référence). Les coûts collectifs globaux diminuent de 8%.

ANNEXE 1 : DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES• **Références géographiques**

Numéro	Nom	Coordonnées	Lambert II étendu	Altitude	Producteurs
1305 5029	MARSEILLE	Latitude Longitude	43°18'36"N 5°28'42"E	Lambert Y (hm) Lambert X (hm)	192 mètres 2015 18171 METEO-FRANCE 8553

• **Référence temporelle**

Période	Du 10 février 2015 au 24 février 2015 et du 09 avril 2015 au 23 avril 2015
Heures	0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21

• **Paramètres**

Mnémonique	Libellé	Unité	Pas de temps
T	TEMPERATURE SOUS ABRI HORAIRE	DEG C ET 1/10	horaire
FF	VITESSE DU VENT HORAIRE	M/S ET 1/10	horaire
DD	DIRECTION DU VENT A 10 M HORAIRE	ROSE DE 360	horaire

• **Données horaires météorologiques**

Date	T	FF	DD
10 févr. 2015 00:00	0,9	1,1	290
10 févr. 2015 03:00	0,9	0	0
10 févr. 2015 06:00	-0,3	0	0
10 févr. 2015 09:00	5,4	0,5	220
10 févr. 2015 12:00	12,2	2,7	240
10 févr. 2015 15:00	13,6	2,5	250
10 févr. 2015 18:00	7,3	0,6	290

10 févr. 2015 21:00	3,7	0	0
---------------------	-----	---	---

Date	T	FF	DD
11 févr. 2015 00:00	1,6	0	0
11 févr. 2015 03:00	0,9	2,1	90
11 févr. 2015 06:00	1,5	1,6	90
11 févr. 2015 09:00	9,6	1,1	110
11 févr. 2015 12:00	14,5	1,9	240
11 févr. 2015 15:00	14,3	1,7	270
11 févr. 2015 18:00	8	0,7	360
11 févr. 2015 21:00	6,2	0,8	110

Date	T	FF	DD
12 févr. 2015 00:00	4,2	0	0
12 févr. 2015 03:00	3,7	0,6	80
12 févr. 2015 06:00	2,7	1,6	80
12 févr. 2015 09:00	10,7	0,9	100
12 févr. 2015 12:00	12,9	1,6	170
12 févr. 2015 15:00	13,3	2,9	130
12 févr. 2015 18:00	9,2	2,8	90
12 févr. 2015 21:00	8,7	1,9	80

Date	T	FF	DD
13 févr. 2015 00:00	7,9	0	0
13 févr. 2015 03:00	7	1,7	110
13 févr. 2015 06:00	9,1	1,8	90
13 févr. 2015 09:00	9,9	1,6	90
13 févr. 2015 12:00	11,5	3,1	130
13 févr. 2015 15:00	11,2	2,8	130
13 févr. 2015 18:00	9	2,9	100
13 févr. 2015 21:00	8	2,6	80

Date	T	FF	DD
14 févr. 2015 00:00	9,1	2,6	90
14 févr. 2015 03:00	9	2,9	100
14 févr. 2015 06:00	9,1	2,9	110
14 févr. 2015 09:00	9,1	3,3	100
14 févr. 2015 12:00	11,1	1,7	120
14 févr. 2015 15:00	7,1	2,7	100
14 févr. 2015 18:00	6,7	1,3	90
14 févr. 2015 21:00	5,7	1,1	60

Date	T	FF	DD
15 févr. 2015 00:00	5,9	2,1	70
15 févr. 2015 03:00	5,5	1,4	120
15 févr. 2015 06:00	5,5	0,7	110
15 févr. 2015 09:00	6,9	1,8	100
15 févr. 2015 12:00	11,4	6,1	110
15 févr. 2015 15:00	8,5	2,4	120
15 févr. 2015 18:00	6,3	4,1	100
15 févr. 2015 21:00	6,9	2,2	80

Date	T	FF	DD
16 févr. 2015 00:00	4,8	0	0
16 févr. 2015 03:00	4,3	0	0
16 févr. 2015 06:00	5	0	0
16 févr. 2015 09:00	6,8	0	0
16 févr. 2015 12:00	13,3	3	260
16 févr. 2015 15:00	15,2	1,3	270
16 févr. 2015 18:00	9,8	0,9	250
16 févr. 2015 21:00	9,4	0,9	60

Date	T	FF	DD
17 févr. 2015 00:00	7,9	0,8	60
17 févr. 2015 03:00	7,8	1,3	330
17 févr. 2015 06:00	7,8	1,2	80
17 févr. 2015 09:00	8,5	0	0
17 févr. 2015 12:00	10,7	0,8	240
17 févr. 2015 15:00	15,1	1	300
17 févr. 2015 18:00	8	0,8	240
17 févr. 2015 21:00	5,8	0	0

Date	T	FF	DD
18 févr. 2015 00:00	4,8	0	0
18 févr. 2015 03:00	4	0	0
18 févr. 2015 06:00	3,9	0,5	80
18 févr. 2015 09:00	9,8	0,5	260
18 févr. 2015 12:00	15,8	1,8	280
18 févr. 2015 15:00	14,8	3,6	240
18 févr. 2015 18:00	9,4	0	0
18 févr. 2015 21:00	8,7	2,2	70

Date	T	FF	DD
19 févr. 2015 00:00	5,9	1,1	90
19 févr. 2015 03:00	3,1	0	0
19 févr. 2015 06:00	2,5	0	0
19 févr. 2015 09:00	8,7	0,8	180
19 févr. 2015 12:00	14,5	2,9	260
19 févr. 2015 15:00	14,3	3,7	250
19 févr. 2015 18:00	8,1	1,7	280
19 févr. 2015 21:00	6,1	0	0

Date	T	FF	DD
20 févr. 2015 00:00	3,4	0	0
20 févr. 2015 03:00	2,9	0	0
20 févr. 2015 06:00	0,9	0	0
20 févr. 2015 09:00	7,7	1	140
20 févr. 2015 12:00	12,4	2,3	200
20 févr. 2015 15:00	11,8	2,2	130
20 févr. 2015 18:00	7,9	3	100
20 févr. 2015 21:00	7,6	5,3	110

Date	T	FF	DD
21 févr. 2015 00:00	7,3	4,1	100
21 févr. 2015 03:00	9,7	3	150
21 févr. 2015 06:00	10,3	3,3	160
21 févr. 2015 09:00	10,1	3,6	140
21 févr. 2015 12:00	7,5	2,3	270
21 févr. 2015 15:00	7,5	1,1	310
21 févr. 2015 18:00	6,4	0	0
21 févr. 2015 21:00	4,1	1,3	300

Date	T	FF	DD
22 févr. 2015 00:00	3	2,4	310
22 févr. 2015 03:00	2,4	2	310
22 févr. 2015 06:00	2,2	1,7	270
22 févr. 2015 09:00	7,5	2,4	300
22 févr. 2015 12:00	12,6	2,7	280
22 févr. 2015 15:00	12,2	3,7	290
22 févr. 2015 18:00	5,1	2,5	310
22 févr. 2015 21:00	3,7	2,8	330

Date	T	FF	DD
23 févr. 2015 00:00	2,1	1,3	290
23 févr. 2015 03:00	2,1	1,9	330
23 févr. 2015 06:00	1,9	1,7	320
23 févr. 2015 09:00	6,1	1,3	90
23 févr. 2015 12:00	12,4	3,4	280
23 févr. 2015 15:00	13	3,4	270
23 févr. 2015 18:00	8,8	1,2	290
23 févr. 2015 21:00	9,4	0,7	330

Date	T	FF	DD
24 févr. 2015 00:00	9	2,4	290
24 févr. 2015 03:00	8,1	4,3	270
24 févr. 2015 06:00	5,6	4,4	270
24 févr. 2015 09:00	9,3	5,6	300
24 févr. 2015 12:00	10,7	6,9	300
24 févr. 2015 15:00	10,3	8,1	300
24 févr. 2015 18:00	6,8	4,1	300
24 févr. 2015 21:00	6,7	4,6	300

Date	T	TN	TX	FF	DD
09 avr. 2015 00:00	7,4	7,4	8,5	0	0
09 avr. 2015 03:00	6,8	6,8	7,5	0,6	90
09 avr. 2015 06:00	6,2	4	6,2	0	0
09 avr. 2015 09:00	15,5	13	15,5	1	210
09 avr. 2015 12:00	17,7	17,2	17,8	4,3	250
09 avr. 2015 15:00	18,2	17,9	18,5	3,6	260
09 avr. 2015 18:00	12,4	12,4	17,1	1,4	290
09 avr. 2015 21:00	9,4	9,4	10,1	0	0

Date	T	TN	TX	FF	DD
10 avr. 2015 00:00	7,3	6,7	8,2	0,5	90
10 avr. 2015 03:00	5,7	5,7	6,8	0,5	100

10 avr. 2015 06:00	7,2	4,2	7,2	0	0
10 avr. 2015 09:00	16	14,5	16,3	1,1	170
10 avr. 2015 12:00	18,7	18,7	19,4	2,5	140
10 avr. 2015 15:00	17,8	17,7	18,8	3,6	130
10 avr. 2015 18:00	12,5	12,5	14,7	2,3	130
10 avr. 2015 21:00	9,8	9,7	10,4	2,1	90

Date	T	TN	TX	FF	DD
11 avr. 2015 00:00	6,4	5,8	7,4	0,8	60
11 avr. 2015 03:00	4,7	4,2	4,7	0,5	100
11 avr. 2015 06:00	5,1	4,1	5,1	1,1	70
11 avr. 2015 09:00	15,3	12,7	15,3	1,2	200
11 avr. 2015 12:00	18,3	17,1	18,3	2,5	270
11 avr. 2015 15:00	18	17,7	18,3	3	260
11 avr. 2015 18:00	13,4	13,4	16,5	1,5	270
11 avr. 2015 21:00	10,3	10,2	10,4	1,5	360

Date	T	TN	TX	FF	DD
12 avr. 2015 00:00	8,4	8,4	9,4	0	0
12 avr. 2015 03:00	6,6	6,2	7,4	0,8	90
12 avr. 2015 06:00	11,2	8,8	11,2	2,3	90
12 avr. 2015 09:00	17,3	15,8	17,3	1,3	120
12 avr. 2015 12:00	19,9	18,8	19,9	2,9	270
12 avr. 2015 15:00	18,8	18,8	19,6	2,9	270
12 avr. 2015 18:00	14,3	14,3	17	1,2	280
12 avr. 2015 21:00	11,5	11,3	11,5	0	0

Date	T	TN	TX	FF	DD
13 avr. 2015 00:00	10,6	10,4	10,9	1,8	80
13 avr. 2015 03:00	9,6	9,6	10,2	0	0
13 avr. 2015 06:00	10	8,6	10	0	0
13 avr. 2015 09:00	19,9	17,7	20	2,1	240

13 avr. 2015 12:00	22,6	21,6	22,8	3,5	250
13 avr. 2015 15:00	20,4	20,3	21,3	3,5	240
13 avr. 2015 18:00	16,3	16,3	19,6	1,9	280
13 avr. 2015 21:00	12,6	12,4	13,3	1,3	290

Date	T	TN	TX	FF	DD
14 avr. 2015 00:00	12,1	12	12,3	0,8	320
14 avr. 2015 03:00	10	9,8	10,3	0	0
14 avr. 2015 06:00	10,2	7,9	10,2	0	0
14 avr. 2015 09:00	19,3	16,8	19,3	2,1	240
14 avr. 2015 12:00	22,6	21,5	22,6	3,4	240
14 avr. 2015 15:00	22,8	22,4	23,2	2,7	240
14 avr. 2015 18:00	18,7	18,7	22,2	1,7	260
14 avr. 2015 21:00	15	15	15,7	0,9	90

Date	T	TN	TX	FF	DD
15 avr. 2015 00:00	11,1	10,9	13,1	0,5	100
15 avr. 2015 03:00	9,7	9,7	12,1	0	0
15 avr. 2015 06:00	12,3	8,7	12,3	0	0
15 avr. 2015 09:00	21,6	18,3	21,6	1	160
15 avr. 2015 12:00	23,8	23,4	24,3	2,5	240
15 avr. 2015 15:00	21,5	21,5	23,5	2,8	130
15 avr. 2015 18:00	15,9	15,9	18,3	3	110
15 avr. 2015 21:00	13,5	13,4	13,6	1,8	90

Date	T	TN	TX	FF	DD
16 avr. 2015 00:00	13,4	12,9	14	1,7	100
16 avr. 2015 03:00	15,4	14,6	15,6	4,5	100
16 avr. 2015 06:00	16,3	15,9	16,3	3,6	120
16 avr. 2015 09:00	18,4	17,9	18,4	4,2	110
16 avr. 2015 12:00	19,1	18,4	19,9	4	130
16 avr. 2015 15:00	18,7	18,7	19,4	5,2	120

16 avr. 2015 18:00	17,8	17,8	18,4	2,5	130
16 avr. 2015 21:00	16,3	16,3	16,7	3,4	110

Date	T	TN	TX	FF	DD
17 avr. 2015 00:00	14,5	13,9	14,5	3,7	110
17 avr. 2015 03:00	13,4	13,4	13,9	1,2	90
17 avr. 2015 06:00	12,6	12,1	12,6	2,1	100
17 avr. 2015 09:00	17	15	17,6	1,3	140
17 avr. 2015 12:00	19,8	18,9	20,2	4,4	270
17 avr. 2015 15:00	17,7	17,7	19,3	4,8	250
17 avr. 2015 18:00	16,5	16,5	18,2	2,6	290
17 avr. 2015 21:00	13,2	13	13,3	1,9	280

Date	T	TN	TX	FF	DD
18 avr. 2015 00:00	13	12,6	13	3,6	280
18 avr. 2015 03:00	13,7	13,2	14,3	2,2	280
18 avr. 2015 06:00	12,6	11,5	12,6	1,5	270
18 avr. 2015 09:00	18,4	16,7	18,5	3,2	260
18 avr. 2015 12:00	21,9	21,1	22	5,3	250
18 avr. 2015 15:00	21,6	21,2	22	4,7	270
18 avr. 2015 18:00	16	16	17,9	1,9	270
18 avr. 2015 21:00	13	13	13,3	1	90

Date	T	TN	TX	FF	DD
19 avr. 2015 00:00	12,9	12,7	13	3,1	100
19 avr. 2015 03:00	12,3	12	12,3	1,5	110
19 avr. 2015 06:00	14,2	13,7	14,2	1,8	120
19 avr. 2015 09:00	14,4	14,3	15,7	6,5	110
19 avr. 2015 12:00	12,4	12,4	13,4	4,3	110
19 avr. 2015 15:00	11,7	11,2	11,8	2,7	100
19 avr. 2015 18:00	11,5	11,4	12,4	0	0
19 avr. 2015 21:00	10,6	10,5	10,9	1,1	350

Date	T	TN	TX	FF	DD
20 avr. 2015 00:00	10,2	10,1	10,4	0,7	80
20 avr. 2015 03:00	9,5	9,5	9,8	0,6	80
20 avr. 2015 06:00	10,2	9,9	10,2	0	0
20 avr. 2015 09:00	14,3	12,2	14,3	1,1	270
20 avr. 2015 12:00	17,7	16,8	17,8	4,2	240
20 avr. 2015 15:00	17,9	17,8	18,7	5	270
20 avr. 2015 18:00	13,9	13,9	16	2,3	270
20 avr. 2015 21:00	11	10,9	11,2	0,8	360

Date	T	TN	TX	FF	DD
21 avr. 2015 00:00	10,9	10,2	11	1,5	70
21 avr. 2015 03:00	8,4	8,4	9,1	1	80
21 avr. 2015 06:00	12	9,3	12	0,7	100
21 avr. 2015 09:00	20,5	18,2	20,5	2,8	160
21 avr. 2015 12:00	22,9	22,5	23,2	3,1	160
21 avr. 2015 15:00	22,8	22,8	23,7	2,4	170
21 avr. 2015 18:00	17,9	17,9	21,6	1	280
21 avr. 2015 21:00	13,6	13,2	13,6	0	0

Date	T	TN	TX	FF	DD
22 avr. 2015 00:00	9,5	9,5	11,5	0	0
22 avr. 2015 03:00	9,2	8,2	9,7	1,3	80
22 avr. 2015 06:00	11,3	7,3	11,6	0	0
22 avr. 2015 09:00	21,5	17	21,5	0,6	190
22 avr. 2015 12:00	20,9	20,9	22,5	3,7	240
22 avr. 2015 15:00	18,6	18,6	19,2	2	270
22 avr. 2015 18:00	15,8	15,8	17,1	1,6	70
22 avr. 2015 21:00	15,2	14,7	15,2	0,8	60

Date	T	TN	TX	FF	DD
23 avr. 2015 00:00	12,2	12,2	12,9	0,7	90
23 avr. 2015 03:00	10,1	9,7	10,5	0,6	70
23 avr. 2015 06:00	11,3	9,3	11,5	0	0
23 avr. 2015 09:00	19,5	17	20,1	3,1	250
23 avr. 2015 12:00	20,7	19,8	20,8	3,5	240
23 avr. 2015 15:00	20,6	20,1	20,8	3,2	240
23 avr. 2015 18:00	17,5	17,5	19,5	1,1	250
23 avr. 2015 21:00	14,9	14,9	15,4	0,9	360

ANNEXE 2 : PRÉSENTATION DU MODÈLE DE DISPERSION ARIA IMPACT

L'objet de ce logiciel est double. Il permet de :

- réaliser des statistiques permettant une étude de la micro-météorologie d'un site du point de vue des propriétés dispersives de l'atmosphère,
- simuler la dispersion des polluants atmosphériques issus d'une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques selon des formulations gaussiennes.

Les modules de traitement prennent en compte la spécificité des mesures météorologiques et permettent le calcul de grandeurs physiques dérivées nécessaires au calcul de transport-dispersion de polluant.

Le principe du logiciel est de simuler plusieurs années de fonctionnement en utilisant des chroniques météorologiques réelles, représentatives du site. A partir de cette simulation, les concentrations de polluants au sol sont calculées et des statistiques conformes aux réglementations en vigueur sont élaborées.

Le logiciel ARIA Impact est un modèle gaussien statistique cartésien. Pour le calcul des retombées au sol de polluants, il permet de prendre en compte deux types de polluants :

- les effluents gazeux passifs,
- les poussières sensibles aux effets de la gravité.

Le programme effectue les calculs individuellement pour chacune des sources (sources ponctuelles, linéiques et surfaciques) et somme pour chaque espèce les contributions de toutes les sources de même type. Il permet de prendre en compte une description de la granulométrie en dix classes et l'appauvrissement du panache au cours de sa progression.

De plus, pour les vents faibles, un modèle à bouffées gaussiennes permet de calculer les concentrations au sol.

Les hypothèses de calcul de ce modèle sont les suivantes :

- la turbulence est homogène dans les basses couches,
- la mesure du site est représentative de l'ensemble du domaine de calcul,
- la densité des polluants est voisine de celle de l'air,
- la composante verticale du vent est négligeable devant la composante horizontale,
- le régime permanent est instantanément atteint.

Ces hypothèses sont généralement majorantes et permettent une visualisation rapide des ordres de grandeurs de la pollution sur des domaines de 1 à 50 km. Chacun des paramètres déterminants dans l'estimation de la pollution atmosphérique modélisée par ARIA Impact est détaillé ci-après.

↪ Le terrain

Sans être un modèle tridimensionnel, ARIA Impact permet de prendre en compte l'influence du relief de façon simplifiée. En effet, la prise en compte du relief est basée sur des modélisations qui dépendent de la stabilité atmosphérique et de la hauteur du panache par rapport au sol.

↪ Domaine d'application

Le domaine d'étude doit être suffisamment grand (10 - 50km) pour que les obstacles (bâtiments, arbres, etc..) puissent être considérés comme faisant partie de la rugosité du terrain.

↪ Le régime

La formulation du gaussien rectiligne se démontre pour un régime permanent. Il faut remarquer qu'un régime permanent est majorant par rapport à un régime transitoire.

↪ La turbulence atmosphérique

La propagation du panache est supposée s'effectuer dans une couche de l'atmosphère homogène, débutant du sol et suffisamment haute pour ne pas gêner l'expansion verticale du panache.

La turbulence est représentée par une classe qui permet de choisir une paramétrisation "des écarts-type" (dimensions verticales et horizontales du panache). Cette paramétrisation traduit mathématiquement l'expansion verticale et horizontale du panache. Ainsi, une inversion thermique débutant du sol et contenant la totalité du panache sera une atmosphère stable ou très stable (classe E ou F de Pasquill).

La turbulence ayant deux origines, l'une thermique et l'autre mécanique, il est nécessaire de disposer des indications suivantes :

- une mesure de vent pour évaluer la turbulence d'origine mécanique,
- des informations concernant le rayonnement (solaire et infrarouge) : la position astronomique du soleil (heure dans l'année) et la couverture nuageuse (nébulosité en 1/8) pour apprécier la turbulence d'origine thermique.

La turbulence mécanique est prépondérante par vent fort et a tendance à rendre l'atmosphère thermiquement neutre. La turbulence thermique conduit à de fortes instabilités lorsque le sol est surchauffé et que le vent laisse s'établir la convection naturelle.

Dans le cas d'un calcul simple d'initialisation manuelle des données météorologiques, la classe de stabilité est soit fournie par l'utilisateur, soit déduite des données météorologiques introduites. Dans le cas des roses des vents saisies manuellement, les données de départ sont fournies par un fichier de données météorologiques comportant souvent plusieurs années de mesures. Ces mesures sont des mesures réelles, la classe de stabilité est donc estimée à partir de ces mesures.

Les méthodes de détermination disponibles dans le logiciel sont décrites pour la formulation de Pasquill (classe A à F). Toutefois, ARIA Impact offre également la possibilité de décrire les écarts-type à partir des formulations de Briggs, Doury ou Brookhaven. Une correspondance entre ces classes et celles de Pasquill est alors utilisée.

Méthode dite "Nébulosité - Vent"

C'est la méthode la plus utilisée car la nébulosité (ou indice de couverture nuageuse) est la grandeur généralement fournie par les stations de Météo France. La stabilité est déduite à partir des paramètres disponibles (vitesse du vent et nébulosité) selon la méthode suivante :

1) Détermination d'un indicateur de "Iv" portant sur les effets mécaniques et utilisant la mesure du vent à 11 m :

Vent (m/s)	0<V≤0,5	0,5<V≤1,5	1,5<V≤3,5	3,5<V≤5,5	5,5<V≤6,5	6,5<V
Iv	1	2	3	4	5	6

2) Détermination d'un indicateur de rayonnement "R" caractérisant les effets thermiques et utilisant la hauteur du soleil "H", fonction du jour dans l'année et de l'heure dans le jour ainsi que de la nébulosité "N" :

Hauteur soleil "H": Nébulosité "N" :	NUIT	0≤H<15°	15°≤H<35°	35°≤H<60°	60°≤H≤90°
N=0	R=5	R=5	R=3	R=2	R=1
N=1	R=5	R=5	R=3	R=2	R=1
N=2	R=5	R=5	R=3	R=2	R=1
N=3	R=5	R=5	R=3	R=2	R=1
N=4	R=5	R=4	R=6	R=2	R=1
N=5	R=4	R=4	R=6	R=3	R=2
N=6	R=4	R=4	R=6	R=3	R=2
N=7	R=4	R=4	R=6	R=3	R=2
N=8	R=6	R=6	R=6	R=6	R=3

3) Croisement des deux indicateurs de turbulence (turbulence mécanique : indicateur "Iv", turbulence thermique : indicateur "R") pour obtenir la classe de stabilité de PASQUILL :

	JOUR			NUIT ou jour couvert (R = 6)		
	R=1	R=2	R=3	R=4	R=5	R=6
Iv=1	A	A	B	F	F	D
Iv=2	A	B	B	E	F	D
Iv=3	A	B	C	E	F	D
Iv=4	B	C	C	D	E	D
Iv=5	C	C	D	D	D	D

Iv=6	C	D	D	D	D	D
------	---	---	---	---	---	---

On retrouve dans cette démarche les principes énoncés :

- par vent modéré et fort, l'atmosphère est bien brassée et neutre (D) ;
- par vent faible et si de l'énergie thermique près du sol est disponible, la convection naturelle peut s'établir (A, B ou C) ;
- à défaut, l'atmosphère est stable (E ou F).

Il est nécessaire de préciser que cette méthode permet d'avoir une estimation globale de la stabilité atmosphérique. Elle ne permet en aucun cas d'avoir une description de la structure verticale de l'atmosphère. L'accès à cette structure (altitude et épaisseur des couches stables ou inversion) passe par une instrumentation spécifique du site qui n'est pas réalisée en routine par les centres météorologiques.

↪ Les écarts-types

Les calculs des écarts-type de dispersion σ_y , σ_z sont effectués par ARIA Impact avec les mêmes formules pour les deux modèles (gaz et particules). Il est toutefois possible de choisir entre plusieurs types de formulation, aussi bien pour σ_y que σ_z .

La dispersion du polluant autour de sa trajectoire nécessite la connaissance des écarts-type. Les distributions gaussiennes des polluants sont caractérisées par les "écarts-type" horizontaux et verticaux.

Le choix des écarts-type, paramètres qui pilotent la diffusion du panache, est un problème délicat qui renferme une part d'empirisme relativement importante. Ces paramètres doivent être adaptés au site étudié. Pour évaluer la valeur des écarts-type, il faut prendre en compte les éléments suivants :

- plus le terrain est accidenté et contient des obstacles, plus la rugosité est importante,
- plus la rugosité est importante, plus la turbulence (conditions météorologiques égales par ailleurs) est élevée,
- plus la turbulence est élevée, plus les écarts-type sont importants,
- plus les écarts-type sont importants, plus vite le panache se disperse, plus vite le panache atteindra le sol (cas d'un rejet élevé).

Pour les écarts-type de dispersion des panaches, on peut utiliser les formulations suivantes :

- (1) PASQUILL - TURNER : formulation standard.
- (2) BRIGGS OPEN COUNTRY, pour les sites de campagne peu accidentés.
- (3) BRIGGS URBAN, pour les sites urbanisés où le mélange vertical est très fort.
- (4) DOURY, formulation du Commissariat à l'Energie Atomique français.
- (5) BROOKHAVEN, formulation du Brookhaven National Laboratory.

Les formules utilisées, en fonction de la distance sous le vent des émissions et de la classe de stabilité, ont été établies pour des durées d'échantillonnage de 10 mn. Cependant, on peut facilement obtenir des concentrations moyennes tri-horaires, au plus, à partir de durées d'échantillonnage de 10 mn.

Variables significatives :

x = distance à la source sous le vent

σ_y = écart-type horizontal perpendiculaire à l'axe du panache

σ_z = écart-type vertical perpendiculaire à l'axe du panache

Dans les modèles de dispersion gaussienne, les écarts-type de Pasquill sont couramment utilisés. Ils sont fonction de la distance parcourue par le polluant depuis la source d'émission et de la stabilité de l'atmosphère.

↪ Cas des vents faibles

Dans le cas des vents faibles, un modèle à bouffées gaussiennes : DIFFUS permet de calculer les concentrations au sol.

Le modèle DIFFUS modélise le transport et la diffusion des polluants en mettant en œuvre deux fonctions bien distinctes :

Le calcul de la trajectoire du polluant (transport par le vent),

Le calcul de la dispersion du polluant autour de sa trajectoire et de l'impact en différents points du maillage.

La dispersion du polluant est simulée par l'émission régulière de "bouffées" partant de la source que l'on peut comparer aux bouffées issues de la pipe d'un fumeur. La continuité du panache est assurée par la cadence faible de l'émission des bouffées (quelques dizaines de secondes) et par une méthode de calcul intégrant la concentration entre deux bouffées consécutives. La trajectoire du panache est alors représentée par le déplacement du centre des bouffées dans le temps. A chaque instant, les bouffées vont se déplacer en fonction du vent.

On considère que la vitesse horizontale du vent du polluant est celle du vent considéré au point de positionnement de la bouffée. La vitesse de déplacement vertical du polluant est celle du vent plus une vitesse de gravité " v_g ". Cette vitesse de gravité " v_g " simule l'effet de gravité sur les particules de polluant. Elle a pour effet d'incliner l'axe du panache vers le sol comme l'illustre la figure suivante.

Le transport du polluant en un point du maillage (x, y, z) à un instant donné " t " pendant un intervalle de temps dt vérifie les équations suivantes :

$$\left. \begin{aligned} dx &= u(x, y, z, t)dt \\ dy &= v(x, y, z, t)dt \\ dz &= [w(x, y, z, t) - Vg]dt \end{aligned} \right\} (1)$$

où :

dx, dy, dz : définissent le déplacement du nuage selon les trois axes du domaine pendant l'intervalle de temps dt

$$\left. \begin{aligned} u(x, y, z, t) \\ v(x, y, z, t) \\ w(x, y, z, t) \end{aligned} \right\} \text{Ce sont les trois composantes du vent au point } (x, y, z) \text{ du domaine à l'instant } t \text{ du calcul.}$$

Vg : Vitesse éventuelle de gravité du polluant (si le diamètre de la particule est important)

Pour les gaz, la vitesse de chute est nulle.

En ce qui concerne les poussières, leur vitesse de chute est calculée en fonction de la granulométrie des poussières et de leur densité. Pour évaluer la vitesse de chute des poussières en fonction de la granulométrie, nous avons utilisé la loi de Stockes :

$$Vg = \frac{2r^2 g \rho_p}{9\mu}$$

où :

μ : Viscosité de l'air (= $1,8 \cdot 10^{-4}$ g/s/cm)
 ρ_p : Densité de la particule
 r : Rayon de la particule
 g : Constante de gravité (= $9,81$ m/s²)

Pour simuler la dispersion, l'émission est découpée en un grand nombre de "bouffées" élémentaires. Les bouffées ont une taille qui évolue dans le temps en fonction de leur distance par rapport à la source et de la stabilité de l'atmosphère. Le centre de la bouffée est un point de la trajectoire du polluant. Autour de ce point, la concentration de la bouffée est supposée répartie de façon gaussienne (plus de polluant vers le centre de la bouffée que sur les bords de la bouffée).

Les distributions gaussiennes des polluants sont caractérisées par les écarts-type horizontaux et verticaux.

Pour le calcul classique, ces écarts-type vont évoluer dans le temps pour modéliser la diffusion du panache dans l'air ambiant. La loi d'évolution des bouffées suit les règles de Pasquill qui sont classiquement utilisées dans les modèles de dispersion gaussienne. Ces évolutions sont fonction de la distance parcourue par la bouffée depuis son départ de la source et de la stabilité de l'atmosphère.

Ce type de modélisation utilisant des bouffées est exactement identique à une modélisation gaussienne classique lorsque le vent est supposé uniforme sur tout le domaine de calcul (sans vitesse verticale du vent), le terrain plat et le débit constant.

A chaque bouffée est attribuée une concentration (ou masse) de polluant en fonction du débit de la source au moment où la bouffée quitte la source.

L'impact au sol (concentration ou dépôt) est la somme des contributions de chaque bouffée.

Soient les caractéristiques d'une bouffée i à un instant t : $[x_i, y_i, z_i, (t - t_e)_i, M_i]$

On peut écrire la formulation gaussienne donnant la concentration en un point quelconque (x, y, z) due à cette bouffée :

$$C = \frac{M_i}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \sigma_{hi}^2 \sigma_{vi}} \exp \left[-\frac{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}{2\sigma_{hi}^2} - \frac{(z-z_i)^2}{2\sigma_{vi}^2} \right]$$

La concentration totale s'obtient alors en sommant les contributions de chacune des bouffées situées sur les trajectoires. Pour un instant de tracé t, on prend sur chaque trajectoire émise antérieurement à t la première bouffée d'âge $(t - t_e)_i \geq t$.

L'ensemble de ces bouffées constitue la ligne d'émission.

ANNEXE 3 : ANALYSE DES DANGERS DES POLLUANTS PAR VOIE RESPIRATOIRE ET CHOIX DES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE

L'acroléine (n° CAS : 107-02-8)

Exposition aiguë

L'acroléine agit rapidement sur les organes en contact. C'est pourquoi, lors d'une exposition aiguë, les premiers symptômes sont des démangeaisons au niveau des yeux.

Nous retiendrons la VTR de l'ATSDR.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Acroléine	OEHHA	REL	2,5	Irritation oculaire	-	-	-
	ATSDR	MRL	6,98		2007	100	-
	OMS	valeur guide	50		1992	-	homme

Exposition chronique avec seuil

L'acroléine, à moyen terme, provoque une dégénérescence de l'épithélium nasal. Trois VTR sont déduites d'études expérimentales sur des rats. L'US-EPA défini en 2003 une VTR de 0,02 µg/m³. Cette valeur a été obtenue à partir des résultats de l'étude de Feron et al. (1978) menée sur des rats, hamsters et lapins exposés 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 13 semaines à des concentrations d'acroléine de 0, 0,9, 3,2 ou 11 mg/m. De légères modifications histopathologiques ont été observées dans la cavité nasale d'un des 12 rats exposés à 0,4 ppm (0,9 mg/m). Cette valeur a été considérée comme LOAEL et ajustée à une exposition continue selon le calcul suivant : $0,9 \text{ mg/m} \times 6 \text{ heures/24} \times 5 \text{ jours/7} = 0,16 \text{ mg/m}$. Cette concentration a ensuite été ajustée à 0,02 mg/m³ pour tenir compte des différences allométriques entre l'espèce animale et l'homme.

De son côté, Santé Canada (1998) propose une VTR de 0,4 µg/m³. Cette VTR est obtenue à partir de la concentration associée à une hausse de 5 % de la fréquence des lésions dans l'épithélium nasal chez les rats Wistar mâles de 0,14 mg/m. Les rats ont été exposés à l'acroléine pendant 3 jours. Les effets observés sont des cas modérés à graves de désagrégation, nécrose, épaissement et desquamation de l'épithélium nasal (Casseo et al., 1996). Un facteur d'ajustement de 6/24 a été pris en compte pour l'extrapolation de l'exposition intermittente à une exposition continue (bien qu'il ne soit pas prouvé que l'aggravation des lésions en cas d'exposition continue). Un facteur

d'incertitude de 100 a été appliqué pour tenir compte de la variation inter-espèces et des variabilités au sein de l'espèce humaine. En l'absence de données sur l'aggravation des effets critiques avec l'augmentation de l'exposition, aucun facteur d'incertitude supplémentaire, pour tenir compte de l'attribution d'une VTR chronique à partir de l'exposition d'une étude à court terme, n'est utilisé.

D'après l'OPERSEI et le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, la prise en compte de la valeur proposée par Santé Canada (Health Canada) est tout à fait pertinente, compte tenu des éléments suivants listés par l'OPERSEI7 :

« La détermination de la valeur de 0,4 µg/m est basée sur une étude plus sensible (des effets ont été observés aux concentrations les plus faibles) mais aussi plus récente que celle de Kurtzman de 1981. De plus, c'est la seule étude au cours de laquelle des effets histopathologiques ont été examinés au niveau respiratoire.

En outre, il est vrai que la courte durée de cette étude (3 jours) et le nombre plus limité d'animaux seraient défavorables à l'utilisation de cette étude par rapport à celle de Kurtzman. Toutefois, les changements dégénératifs observés dans l'épithélium nasal des rats mâles Wistar n'étaient pas différents de ceux observés au cours d'essais à long terme réalisés à des concentrations comparables et sur la même lignée de rats. C'est ainsi qu'il n'a pas été jugé utile d'ajouter un facteur d'incertitude supplémentaire de 10, contrairement à ce qu'a fait l'US-EPA."

Ainsi, la valeur de 0,4 µg/m retenue par Health Canada paraît tout à fait justifiable. De plus, il faut rappeler que la valeur plus conservatrice de l'US-EPA est basée sur un facteur d'incertitude considérable de 1000, et que les doses auxquelles des effets ont été observés (0,14 mg/m pour Health Canada et 0,917 mg/m³ pour l'US-EPA) ne sont pas très éloignées. C'est le facteur supplémentaire de 10 pour les effets chroniques, retenu par l'US-EPA, qui entraîne cet écart important entre 0,4 et 0,02 µg/m³ ..

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Acroléine	OEHHA	REL	0,35	Système respiratoire, yeux	-	-	rats
	EPA	RfC	0,02	Lésions nasales	2003	1000	rats
	Santé Canada	CA	0,4	Atteinte de l'épithélium nasal	1998	100	rats

Le dioxyde d'azote (n° CAS : 10102-44-0)**Exposition aiguë**

Chez l'homme, l'exposition aiguë au NO₂ entraîne une diminution de la fonction respiratoire. L'OMS recommande de ne pas dépasser la valeur moyenne horaire de 200 µg/m³ de NO₂. Néanmoins, l'OMS précise dans son document de 2003 que cette valeur guide ne peut être assimilée à un seuil en deçà duquel le risque serait nul. Les autres instances ne fournissent pas de VTR. Nous utiliserons donc celle de l'OMS.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
NO ₂	OMS	valeur guide	200	Diminution des fonctions pulmonaires chez les asthmatiques	2003	2	homme

Exposition chronique avec seuil

Des études épidémiologiques de cohortes de travailleurs ont démontré un lien entre l'inhalation chronique de NO₂ et le développement de bronchites obstructives chroniques. L'OMS propose une valeur guide de 40 µg/m³. L'EPA a fixé une valeur guide moyenne annuelle de 100 µg/m³. Nous retiendrons la VTR de l'OMS, bien qu'il s'agisse d'une valeur guide pour la qualité de l'air ambiante et non d'une VTR à proprement parler.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
NO ₂	EPA	NAAQS	100	Diminution des fonctions respiratoires	1996	-	homme
	OMS	Valeur guide	40		2003	-	homme

Le dioxyde de soufre (n° CAS : 7446-09-5)**Exposition aiguë**

Une exposition aiguë au SO₂ entraîne une résistance des voies aériennes et une diminution du volume et du débit lors d'une expiration forcée. Ces symptômes sont exacerbés chez les personnes asthmatiques. En milieu professionnel, des émissions de SO₂ en concentrations très élevées suite à des explosions et accidents ont entraîné des brûlures du tractus respiratoires allant jusqu'à une desquamation de la muqueuse respiratoire et à l'œdème alvéolaire hémorragique. Deux valeurs guides sont proposées par l'OMS et l'EPA. L'OMS propose une valeur guide de 500 µg/m³ sur 10 min. L'EPA fixe une norme de qualité de l'air ambiante maximale à 1 300 µg/m³ en moyenne sur 3 heures.

Seule l'ATSDR fournit une VTR concernant l'exposition aiguë, appelée MRL (Minimal Risk Level). Celle-ci est de 26 µg/m³. Seule véritable VTR, cette valeur a été retenue dans la cadre de la présente étude.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
SO ₂	EPA	NAAQS	1 300 sur 3h	Diminution des fonctions respiratoires	1996	-	homme
	OMS	valeur guide	500 sur 10 min		2003	-	homme
	ATSDR	MRL	26		1998	9	homme

Le benzène (n° CAS : 71-43-2)**Exposition aiguë**

Lors d'une exposition aiguë (courte à de fortes concentrations), le benzène entraîne une dépression du système nerveux central s'accompagnant de convulsions et d'une dépression des fonctions respiratoires. Lors d'exposition à des concentrations plus faibles, les symptômes se traduisent par des céphalées, des vertiges et nausées. La VTR proposée par l'ATSDR concerne la dégradation de certains mécanismes immunologiques. Nous retiendrons cette VTR.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Benzène	OEHHA	REL	1 300 (sur 3 heures)	Reproduction, développement	-	-	-
	ATSDR	MRL	29,2	Système immunologique	2008	300	souris

Exposition chronique avec seuil

Concernant l'exposition chronique (faibles concentrations répétées dans la durée), les effets systémiques du benzène sont des atteintes de la moelle osseuse avec une diminution avérée du nombre de lymphocytes, ainsi que des atteintes du système immunitaire. Parmi les trois VTR proposées par l'ATSDR, l'OEHHA et l'EPA, nous retiendrons celle de l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Benzène	ATSDR	MRL	9,7	Diminution des lymphocytes	2007	10	homme
	OEHHA	REL	60	Systèmes hématopoïétique, nerveux, immunologique	-	-	homme
	EPA	RfC	30	Diminution des lymphocytes	2003	300	homme

Le benzène (n° CAS : 71-43-2) - suite**Exposition chronique sans seuil**

Le benzène est également un cancérigène avéré pour l'homme. Il est donc classé comme cancérigène de type 1 par le CIRC et de type A par l'US EPA. Cette classification se justifie notamment par le nombre de cancers observés sur des cohortes professionnelles. Le benzène entraîne des leucémies et autres affections du tissu hématopoïétique. Nous retiendrons la VTR de l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en (µg/m³) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
Benzène	EPA	ERUi	2,2 à 7,8.10 ⁻⁶	Leucémie	1998	homme
	OEHHA	ERUi	2,9.10 ⁻⁵	-	2002	homme
	RIVM	CRi	20 µg/m³ (ERU = 5.10 ⁻⁶)	Système hématopoïétique	1999	homme

Les particules diesel**Exposition chronique avec seuil**

Les particules de petites tailles (< 10 microns) pénètrent facilement dans les voies respiratoires jusqu'aux alvéoles pulmonaires où elles se déposent. Elles peuvent donc altérer la fonction respiratoire des personnes sensibles (enfants, personnes âgées, asthmatiques). Deux VTR sont proposées par l'EPA et l'OMS. On retiendra la VTR de l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Particules Diesel	OEHHA	REL	5	Effets respiratoires (modification histologique, inflammation)	-	-	-
	EPA	RfC	5		2003	30	rats
	OMS	Valeur guide	5,6		1996	25	rats

Exposition chronique sans seuil

Des études chez l'animal ont montré que les particules pouvaient être à l'origine de cancers pulmonaires.

Les particules diesel sont classées comme cancérogènes probables pour l'homme par l'EPA. L'OMS est la seule instance à proposer une valeur de référence pour les risques de cancer.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
Particules Diesel	OEHHA	ERUi	$3,0 \cdot 10^{-4}$	Poumons	-	-
	OMS	ERUi	$3,4 \cdot 10^{-5}$	Poumons	1996	rats

Le chrome hexavalent (n° CAS : 18540-29-9)**Exposition chronique sans seuil**

Le caractère cancérogène du chrome est prouvé lorsqu'il est sous sa forme hexavalente (Cr VI). Il induit alors des cancers pulmonaires. Ses effets ont notamment été observés sur des cohortes de travailleurs dans la production de chromates. Le chrome VI serait plus nocif que les autres spéciations du chrome du fait de sa plus grande solubilité. C'est pourquoi, il est classé comme cancérogène avéré pour l'homme sous sa forme hexavalente (groupe 1 - CIRC et groupe A - US EPA) mais non classifiable sous sa forme trivalente (groupe D - US EPA).

Cinq VTR sont disponibles, celles de l'EPA et de Santé Canada sont dérivées de la même étude de Mancuso et al. (1975) sur des travailleurs d'une usine de chromate entre 1931 et 1937. Le RIVM propose une VTR dérivée de quatre études épidémiologiques de cohortes de travailleurs exposés au chrome VI. L'OEHHA fournit une VTR légèrement plus protectrice que les autres VTR. Nous retiendrons la VTR de l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
Chrome VI	OEHHA	ERUi	$1,50 \cdot 10^{-1}$	Poumons	2003	homme
	EPA	RfC	$8,3 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ERU = $1,20 \cdot 10^{-2}$)		1998	homme
	RIVM	CRi	$2,5 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ERU = $4,0 \cdot 10^{-2}$)		1999	homme

Le formaldéhyde (n° CAS : 50-00-0)**Exposition chronique avec seuil**

Le caractère irritant du formaldéhyde est prouvé chez l'homme, notamment chez l'enfant. Il entraîne une altération de l'épithélium nasal. L'ATSDR et l'OEHHA proposent des VTR autour de 9-10 µg/m³. Nous retiendrons la VTR de l'ATSDR de 9,84 µg/m³.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Formaldéhyde	OEHHA	REL	9	Système respiratoire	2008	-	homme
	ATSDR	MRL	9,84	Epithélium nasal	1999	30	homme

Exposition chronique sans seuil

Le caractère cancérigène du formaldéhyde est fortement suspecté chez l'homme. Il a pu être démontré en milieu professionnel, ou le lien de causalité entre l'exposition aux vapeurs de formaldéhyde et des cancers du nasopharynx et de la cavité nasale est considéré comme hautement probable.

Le formaldéhyde est classé dans le groupe 1 (« cancérigène pour l'homme ») par le CIRC-IARC et dans la classe B1 (« probablement cancérigène ») par l'US EPA.

Parmi les deux VTR disponibles, on retiendra celle de l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en (µg/m ³) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
Formaldéhyde	EPA	RSC	7,7.10 ⁻¹ µg/m ³ (ERU =1,3.10 ⁵)	Epithélium nasal	1989	rats
	OEHHA	UR	2,70.10 ⁻⁶	Nez	1993	rats

Le 1,3-butadiène (n° CAS : 106-99-0)**Exposition chronique avec seuil**

Le 1,3-butadiène, en exposition répétée, induit chez la souris, des lésions prolifératives dans le cœur, les poumons et l'estomac, ainsi qu'une atrophie testiculaire et ovarienne et un effet sur la moelle osseuse. La VTR de l'US EPA de 2 µg/m³ est retenue.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
1,3-butadiène	EPA	RfC	2	Atrophie ovarienne	2002	1000	souris
	OEHHA	REL	20	Système reproductif			souris

Exposition chronique sans seuil

Le 1,3-butadiène est un cancérigène probable pour l'homme. Cette classification se base sur des études épidémiologiques aux Etats-Unis et au Canada sur des travailleurs de l'industrie du caoutchouc synthétique. Une augmentation significative des leucémies a été observée. Parmi les trois VTR disponibles, on retiendra la VTR de l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en (µg/m ³) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
1,3-butadiène	EPA	ERUi	3.10 ⁻⁵	Sang	2002	homme
	OEHHA	ERUi	1,7.10 ⁻⁴	Poumons	1992	souris

L'acétaldéhyde (n° CAS : 75-07-0)**Exposition chronique avec seuil**

L'acétaldéhyde n'a pas fait l'objet d'études épidémiologiques concernant ses effets systémiques mais des cas de dermatoses irritatives et allergiques et des broncho-pneumopathies ont été relevés en milieu professionnel. On retiendra la VTR de l'EPA de 9 µg/m³.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Acétaldéhyde	OEHHA	RfC	9	Epithélium nasal	-	-	-
	Santé Canada	CA	390	Epithélium nasal	1998	100	rats
	EPA	RfC	9	Epithélium nasal	1991	1000	rats

Exposition chronique sans seuil

Les effets cancérogènes de l'acétaldéhyde ont été suspectés lors d'une étude épidémiologique en milieu professionnel (usine de dimérisation de l'aldéhyde acétique). Quatre cas de cancers pulmonaires et deux cas de cancer de la cavité buccale avaient alors été diagnostiqués. Les VTR, quant à elles, sont dérivées d'études expérimentales sur des rats. On retiendra la VTR de l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en (µg/m ³) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
Acétaldéhyde	EPA	ERUi	2,2.10 ⁻⁶	Epithélium nasal	1998	rats
	OEHHA	ERUi	2,70.10 ⁻⁶	Nez	1993	rats

Le nickel (n° CAS : 7440-02-0)**Exposition chronique avec seuil**

Une augmentation de l'incidence de décès par pathologie respiratoire a été montrée chez des travailleurs exposés de façon chronique au nickel sous forme oxydée ou de métal. Des cas d'asthme ont été décrits à la suite d'exposition professionnelle au nickel.

La VTR d'ATSDR concerne l'exposition aux sulfates de nickel et autres composés solubles du nickel. Celle de Santé Canada est dérivée d'un LOAEL obtenu après des expérimentations sur des lapins exposés au nickel métallique dans l'air. Nous retiendrons la VTR de l'ATSDR.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Nickel	ATSDR	MRL	0,09	Poumons	2005	30	rat
	Santé Canada	CA	0,018 (provisoire)	Poumons	1993	1000	lapins

Exposition chronique sans seuil

Concernant le caractère cancérogène du nickel, les principales études épidémiologiques ont été basées sur des cohortes de travailleurs de raffineries. Elles ont mis en évidence l'augmentation du risque de cancer du poumon et du nez. L'EPA, l'OMS et l'OEHHA proposent des VTR pour l'exposition aux poussières de nickel en milieu professionnel. On choisira la VTR de l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en (µg/m ³) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
Nickel (poussières de nickel)	OMS	ERUi	3,8.10 ⁻⁴	Poumons	2000	homme
	EPA	ERUi	2,4.10 ⁻⁴		1998	homme
	OEHHA	ERUi	2,6.10 ⁻⁴		2002	homme

Le cadmium (n° CAS : 7440-43-9)**Exposition chronique avec seuil**

Le cadmium, qu'il soit absorbé par voie pulmonaire ou digestive, peut induire des altérations de la fonction rénale. La plus petite exposition au cadmium entraînant chez les professionnels une augmentation des dysfonctionnements rénaux et des cancers du poumon est 100 µg/m³/an pour une exposition de 5h consécutives. Cette valeur, ajustée pour une exposition continue est de 0,3 µg/m³. Les concentrations en milieux urbains et industriels sont environ égales à 1/15^e de cette valeur. Toutefois, l'observation des effets rénaux dans des régions d'Europe où les sols sont anciennement contaminés par des émissions de cadmium indique que le taux de cadmium corporel ne peut pas augmenter sans mettre en danger les fonctions rénales.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Cadmium	ATSDR	MRL	0,01	Reins	2008	9	homme
	OMS	valeur guide	0,005	Reins	1999	-	homme

Exposition chronique sans seuil

Les preuves de la cancérogénicité par inhalation étant jugées suffisantes chez l'homme (excès de la mortalité par cancer pulmonaire dans de nombreuses cohortes professionnelles) et l'animal, le CIRC a classé le cadmium et ses composés comme des cancérogènes pour l'homme (groupe 1). Cependant, en raison de l'influence controversée d'une exposition concomitante à l'arsenic et du statut tabagique, l'OMS ne propose pas de VTR estimant l'excès de risque de cancer pulmonaire lié à une exposition par voie respiratoire au cadmium. En raison de preuves jugées suffisantes chez le rat et la souris et des preuves épidémiologiques limitées, le cadmium est classé par l'US EPA comme cancérigène probable (groupe B1) par voie respiratoire. Nous retiendrons la VTR proposée par l'EPA.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en (µg/m ³) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
Cadmium	OEHHA	ERUi	4,2.10 ⁻³	Poumons	-	-
	EPA	ERUi	ERU = 1,8.10 ⁻³	Poumons	1987	homme

Le benzo(a)pyrène (n° CAS : 50-32-8)**Exposition chronique sans seuil**

Bien que les effets cancérogènes du benzo(a)pyrène chez l'homme n'aient pas été prouvés, les études menées en laboratoire sur des hamsters tendent à montrer qu'il serait à l'origine chez l'animal de tumeurs au niveau du tractus respiratoire lors d'exposition par inhalation. C'est pourquoi, il est classé dans le groupe 2A par le CIRC, et dans la classe B2 par l'US EPA, à savoir cancérigène probable chez l'homme.

L'OMS propose une VTR issue d'études épidémiologiques sur des travailleurs de four à coke. Cette VTR n'est pas spécifique du benzo(a)pyrène mais correspond à un mélange de HAP, ce qui conduit à une surestimation du potentiel cancérigène.

Nous avons retenu l'ERU de l'OMS.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en (µg/m ³) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
B(a)P	OMS	ERUi	8,7.10 ⁻²	Poumons	1998	homme
	OEHHA	ERUi	1,1.10 ⁻³	Tractus respiratoire	1993	hamsters

L'arsenic (n° CAS : 7440-38-2)**Exposition chronique sans seuil**

Les cancers induits par l'inhalation d'arsenic sont principalement des cancers des poumons. Le CIRC et l'US EPA ont classé l'arsenic et ses composés inorganiques respectivement dans les groupes 1 et A. La cancérogénicité de cette substance pour l'homme est établie sur la base d'études en milieu professionnel et en population générale. Parmi les différentes VTR proposées, nous retiendrons celle de l'EPA. L'arsenic est considéré par le RIVM comme une substance cancérigène non génotoxique, c'est pourquoi le RIVM dérive une VTR à seuil bien que l'effet étudié soit le cancer du poumon.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur en (µg/m ³) ⁻¹	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Type d'étude
Arsenic	OEHHA	ERUi	3,3.10 ⁻³	Poumons	-	-
	RIVM	TCA	1		2000	homme
	EPA	ERUi	4,4.10 ⁻³		1997	homme
	OMS	ERU	1,5.10 ⁻³		1999	homme

Le plomb (n° CAS : 7439-92-1)**Exposition chronique avec seuil**

L'OMS propose une valeur guide de 0,5 µg/m³ dans l'air basée sur la concentration sanguine dans le plomb. Les effets critiques pris en considération pour établir cette valeur guide sont l'augmentation des protoporphyrines érythrocytaires libres chez l'adulte, les troubles cognitifs et la perturbation du métabolisme de la vitamine D chez l'enfant. Cette valeur guide est calculée de manière probabiliste de façon à ce que 98% de la population exposée à cette valeur conserve une plombémie inférieure à 100 µg/l. Selon le rapport du groupe de travail sur la sélection des agents dangereux à prendre en compte dans l'évaluation des risques sanitaires liés aux infrastructures routières, cette valeur guide peut être considérée comme une VTR. Nous retiendrons donc cette VTR fournie par l'OMS.

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
Plomb	OMS	Valeur guide	0,5	Effets neurologiques et hématologiques	1999	-	homme

Les particules PM10 et PM2.5

Les effets des particules sont difficiles à mettre en évidence. En effet leur forme et taille a un impact sur la santé mais également leur composition. Cependant, des études épidémiologiques ont été réalisées et montrent des effets sur le système cardiovasculaire et une augmentation des symptômes bronchiques et asthmatiques.

Pour conclure la mise à jour de ses « Air quality guidelines », l'OMS précise que malgré l'évidence croissante des effets sanitaires liés à l'exposition par inhalation aux particules ultrafines (diamètre < 100 nm), les connaissances scientifiques sont actuellement insuffisantes pour établir une relation dose-réponse et de fait une valeur guide de qualité de l'air. L'OMS propose cependant des valeurs guides :

Exposition aiguë avec seuil

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
PM10	OMS	Valeur guide	50	Effets cardiovasculaires, asthmatiques et bronchiques	2000	-	homme

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
PM2.5	OMS	Valeur guide	25	Effets cardiovasculaires, asthmatiques et bronchiques	2000	-	homme

Exposition chronique avec seuil

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
PM10	OMS	Valeur guide	20	Effets cardiovasculaires, asthmatiques et bronchiques	2000	-	homme

Substance	Nom de la base	Nom de la VTR	Valeur (en µg/m ³)	Organe cible/Effet critique	Date de mise à jour	Facteur d'incertitude	Type d'étude
PM2.5	OMS	Valeur guide	10	Effets cardiovasculaires, asthmatiques et bronchiques	2000	-	homme

Ces valeurs guides ont également été retenues par le RIVM.