

❖ **Cartographie des ERI cumulés sur la zone d'étude**

La répartition spatiale des ERI cumulés est illustrée sur les planches suivantes en utilisant les hypothèses d'une exposition en continu (F=1) à la concentration modélisée en chaque point de la carte pendant 20 ans (hypothèse très majorante).

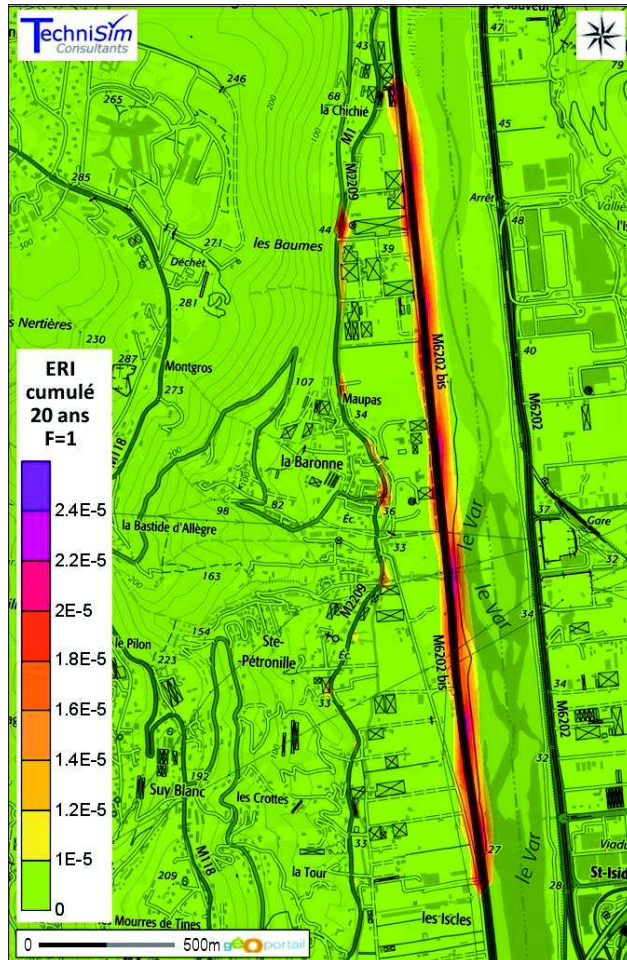


Figure 126 : Cartographie des ERI cumulés avec pour hypothèse majorante une exposition en continue pendant 20 ans aux concentrations modélisées en chaque point de la carte– Situation actuelle 2020

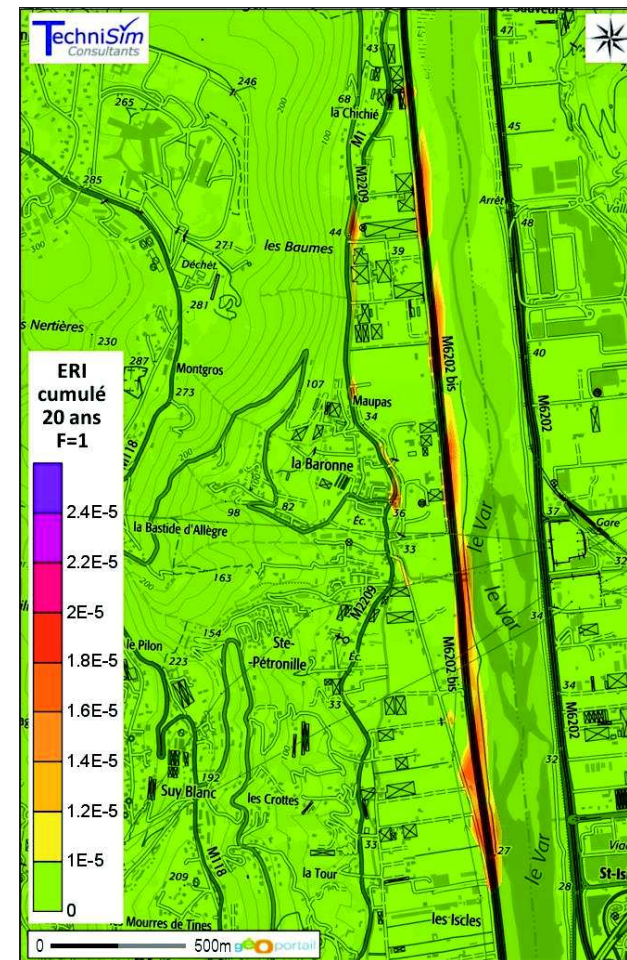


Figure 127 : Cartographie des ERI cumulés avec pour hypothèse majorante une exposition en continue pendant 20 ans aux concentrations modélisées en chaque point de la carte– Situation futur 2023 – sans projet

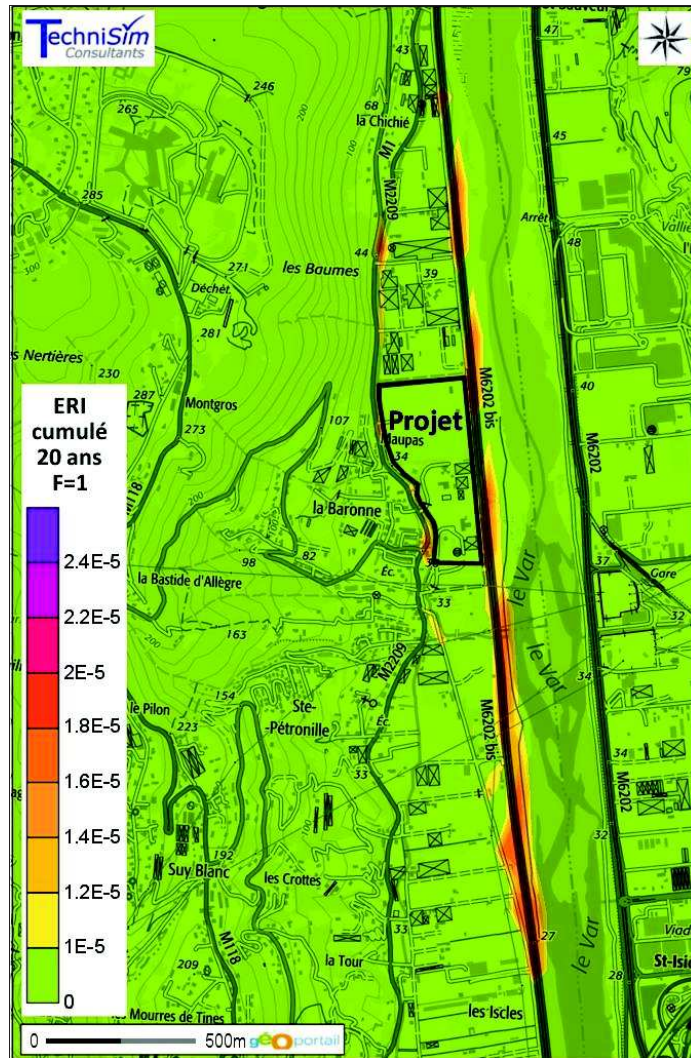


Figure 128 : Cartographie des ERI cumulés avec pour hypothèse majorante une exposition en continue pendant 20 ans aux concentrations modélisées en chaque point de la carte – Situation future 2023 – avec projet

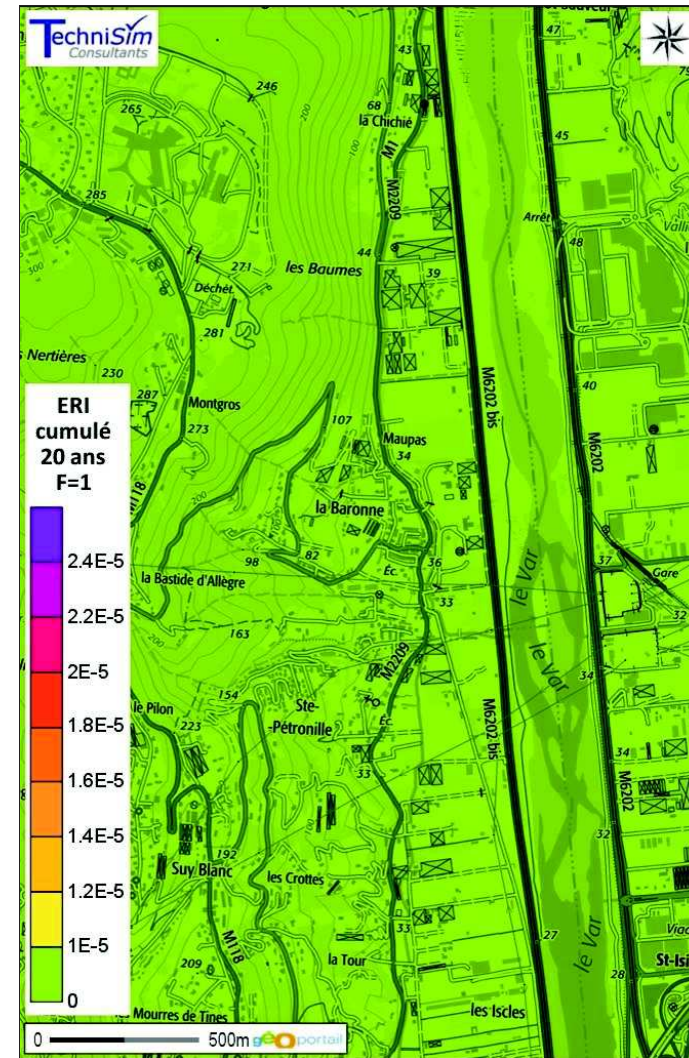


Figure 129 : Cartographie des ERI cumulés avec pour hypothèse majorante une exposition en continue pendant 20 ans aux concentrations modélisées en chaque point de la carte – Situation future 2043 – sans projet

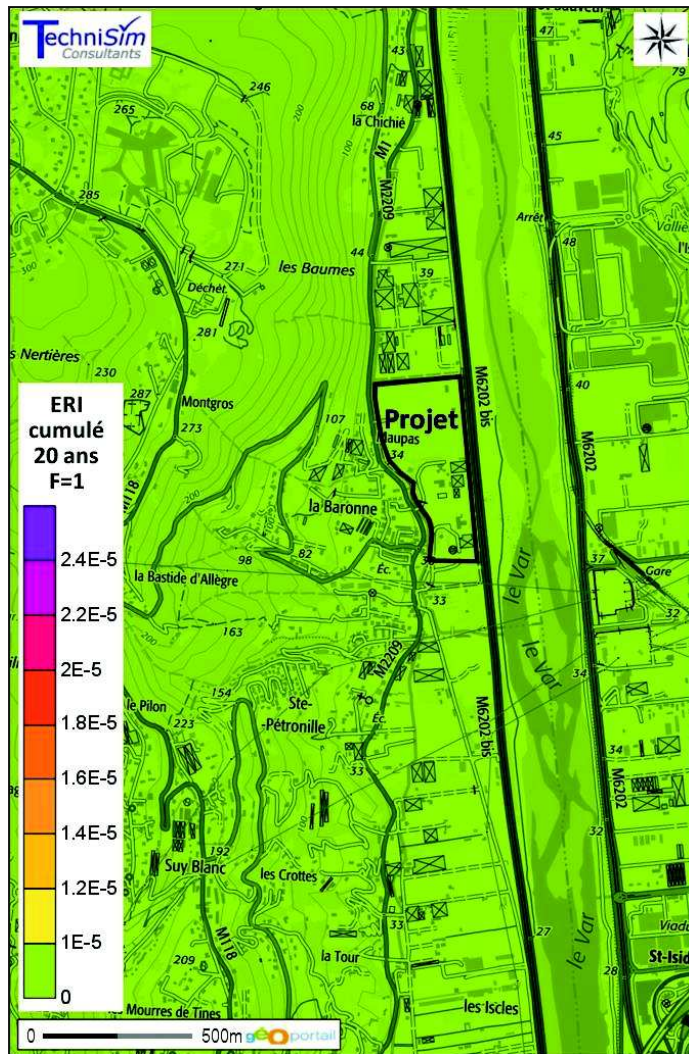


Figure 130 : Cartographie des ERI cumulés avec pour hypothèse majorante une exposition en continue pendant 20 ans aux concentrations modélisées en chaque point de la carte – Situation future 2043 – avec projet

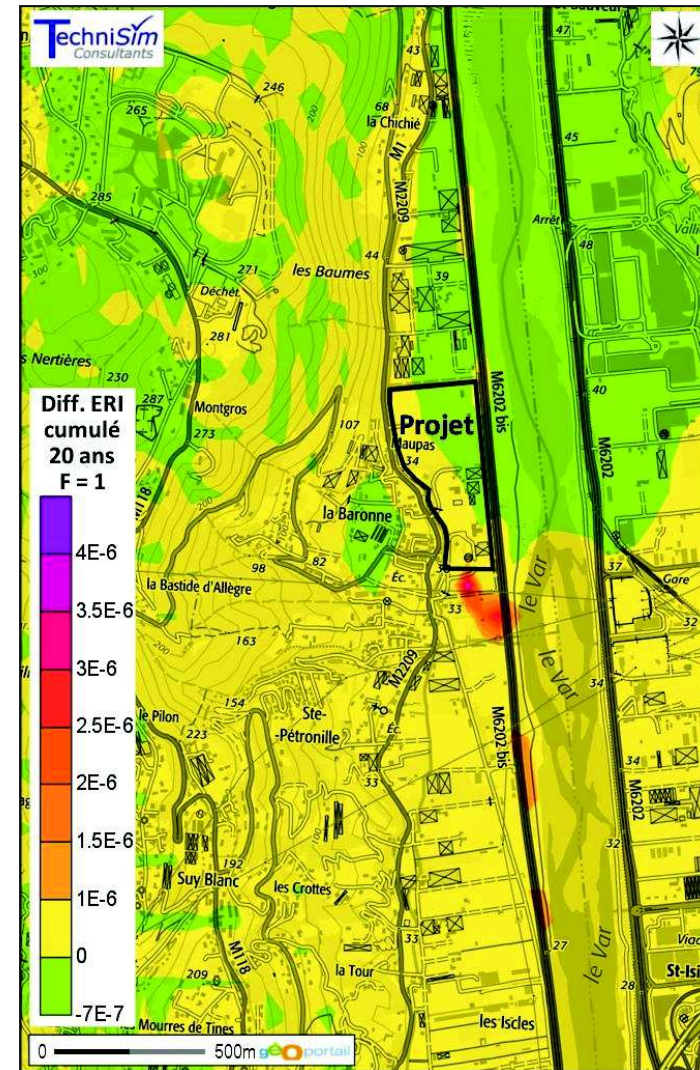


Figure 131 : Différences des ERI cumulés calculés pour l'horizon 2023 avec et sans projet

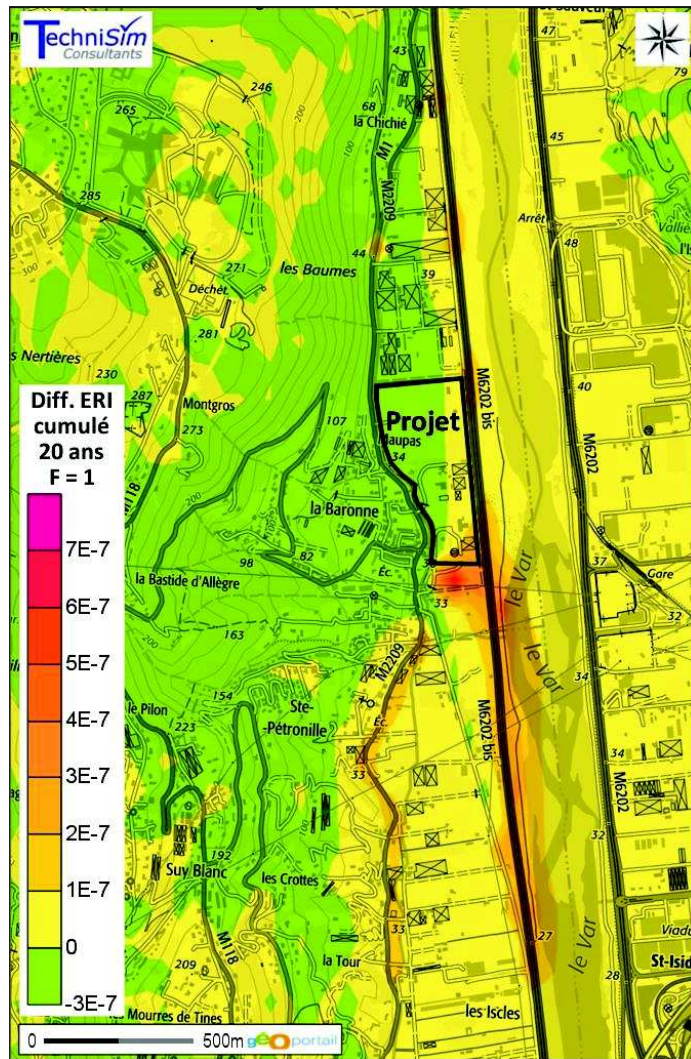


Figure 132 : Différences des ERI cumulés calculés pour l'horizon 2043 avec et sans projet

Considérant le scénario construit pour la réalisation des cartographies, il est possible de constater qu'aucun impact sanitaire significatif sur les ERI cumulés n'est observé au niveau des zones habitées. La valeur seuil de 10^{-5} est uniquement dépassée au niveau des voies à circulation importante et leurs abords immédiats avec des ERI cumulés supérieurs à cette valeur.

De plus, il est possible de constater une baisse importante de l'impact sanitaire des émissions du trafic pour les horizons futurs par rapport à l'horizon actuel, en lien avec les améliorations technologiques et le renouvellement du parc roulant, et ce, malgré les augmentations de volume du trafic sur le réseau d'étude.

L'augmentation de trafic liée à l'exploitation du projet, par rapport à la situation Fil de l'eau, n'engendre pas d'incidence significative sur les risques sanitaires.

En effet, les différences des ERI cumulés avec et sans projet sont très faibles, de l'ordre de 10^{-6} (2023) et de 10^{-7} (2043) au niveau des voies d'accès au projet.

Au niveau de l'ensemble de la zone d'étude, la réalisation du projet entraîne une évolution non significative des risques sanitaires sans seuils par inhalation, en comparaison au scénario sans projet.

19.5. EVALUATION DE L’INDICATEUR SANITAIRE POUR LES EFFETS AIGUS : COMPARAISON AVEC LES RECOMMANDATIONS DE L’OMS

L’Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande des seuils en dessous desquels une exposition à ces concentrations ne révèle aucun effet sur la santé.

Les concentrations (horaires ou journalières) au niveau de chaque établissement ainsi que pour les habitants et le périmètre projet sont comparées à ces recommandations de l’OMS pour le NO₂, les PM10 et les PM2,5.

Pour les 3 polluants considérés (NO₂, PM10 et PM2,5), les recommandations de l’OMS sont respectées vis-à-vis des effets aigus, quels que soient l’horizon et le scénario, en considérant les émissions des brins du réseau d’étude au niveau de l’ensemble des zones à enjeux en termes de population.

Les tableaux suivants présentent les résultats obtenus.

Tableau 72 : Comparaison aux recommandations de l’OMS pour les effets aigus – NO₂

	Recommandation horaire de l’OMS			NO ₂ : 200 µg/m ³	
	Horizon actuel	2023 Sans projet	2023 Avec projet	2043 Sans projet	2043 Avec projet
CENTILE 90 ZONE ETUDE	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR A	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR B	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR C	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR D	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Concentrations relevées sur le périmètre Projet					
Max Projet	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 90	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 80	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 70	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 60	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 50	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 40	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 30	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 20	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 10	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Moyenne Projet	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté

Tableau 73 : Comparaison aux recommandations de l’OMS pour les effets aigus – PM10

	Recommandation journalière de l’OMS	PM10 : 50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an			
	Horizon actuel	2023 Sans projet	2023 Avec projet	2043 Sans projet	2043 Avec projet
CENTILE 90 ZONE ETUDE	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR A	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR B	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR C	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR D	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Concentrations relevées sur le périmètre Projet					
Max Projet	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 90	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 80	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 70	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 60	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 50	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 40	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 30	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 20	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 10	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Moyenne Projet	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté

Tableau 74 : Comparaison aux recommandations de l’OMS pour les effets aigus – PM2,5

	Recommandation journalière de l’OMS	PM2,5 : 25 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an			
	Horizon actuel	2023 Sans projet	2023 Avec projet	2043 Sans projet	2043 Avec projet
CENTILE 90 ZONE ETUDE	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR A	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR B	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR C	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
RECEPTEUR D	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Concentrations relevées sur le périmètre Projet					
Max Projet	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 90	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 80	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 70	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 60	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 50	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 40	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 30	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 20	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Centile 10	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté
Moyenne Projet	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté	Seuil respecté

19.6. INCERTITUDES RELATIVES À L'EQRS

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

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

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

Identification des dangers

L'identification des dangers est une démarche qualitative qui est initiée par un inventaire des différents produits susceptibles de provoquer des nuisances d'ordre sanitaire.

A ce stade, les incertitudes sont liées au défaut d'information et aux controverses scientifiques.

Ici, l'EQRS a porté sur les polluants dont les effets sont connus. Les autres ont été exclus de la démarche car les substances ont été jugées non pertinentes ou bien tout simplement car l'information n'existe pas.

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

Évaluation des incertitudes sur l'évaluation de la toxicité

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

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

Lorsque les VTR sont établies à partir de données animales, l'extrapolation à l'Homme se réalise en général en appliquant des facteurs de sécurité (appelés aussi facteurs d'incertitude ou facteurs d'évaluation) aux seuils sans effet néfaste définis chez l'animal.

Lorsque la VTR est établie à partir d'une étude épidémiologique conduite chez l'homme (par exemple sur une population de travailleurs), l'extrapolation à la population générale s'effectue également en appliquant un facteur de sécurité afin de tenir compte notamment de la différence de sensibilité des deux populations.

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

Ces facteurs changent d'une substance à une autre.

Pour certaines d'entre elles, il n'existe tout simplement pas de facteur de quantification en l'état actuel des connaissances.

Incertitudes sur l'évaluation de l'exposition

4 types d'incertitudes peuvent être associés à l'évaluation de l'exposition.

Soit l'incertitude portant sur :

- la définition des populations et des usages
- les modèles utilisés
- les paramètres
- les substances émises par les sources de polluants considérées

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

Caractérisation du risque

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

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

19.7. SYNTHÈSE DE L'EQRS – IMPACT DU PROJET SUR LA SANTÉ

Selon l'étude de trafic, la réalisation du projet Nouveau MIN + PIA se traduira par une légère hausse du flux de véhicules sur le réseau d'étude, par rapport au scénario au 'Fil de l'eau' et à la situation actuelle conjointement à un aménagement du réseau viaire à l'horizon 2023 (giratoire permettant la desserte du Nouveau MIN + PIA dans l'attente de la réalisation de l'échangeur).

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

Quant aux Excès de Risque Individuel, **en considérant les ERI par composés et en cumul**, il est également possible de constater que ceux-ci sont **tous inférieurs à la valeur-seuil de 10^{-5}** (valeur correspondant à 1 cas de cancer supplémentaire pour 100 000 personnes exposées, par rapport à une population non exposée) **pour tous les horizons et scénarios, quel que soit le scénario d'exposition (enfant, résident, ou travailleur).**

Les cartographies des ERI cumulés pour l'hypothèse d'une exposition continue pendant 20 ans à la concentration modélisée en chaque point (hypothèse majorante et peu réaliste) indique d'une part, que l'impact sanitaire (domaine de vigilance active) est actuellement localisé sur niveau des axes routiers à fort trafic et leurs abords immédiats, et que d'autre part, cet impact diminue fortement pour les horizons futurs.

Aucune habitation n'est concernée.

Malgré cette hypothèse très majorante, pour les situations futures 2023 et 2043, toutes les zones d'habitation se situent dans le domaine de conformité.

Pour l'ensemble des scénarios étudiés, il est ainsi possible de conclure que la réalisation du projet n'est pas de nature à entraîner une augmentation significative des indices sanitaires par rapport à la situation sans projet.

20. EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR LA SANTÉ

20.1. EFFETS GÉNÉRAUX

De nombreuses études épidémiologiques, dont celles pilotées par l'Institut de Veille Sanitaire (InVS), mettent en évidence une relation entre pollution de l'air et santé dans les grandes agglomérations. Le risque existe à partir de faibles niveaux de pollution.

Par ailleurs, il existe de fortes présomptions d'existence de relation synergique entre les allergènes, en particulier les pollens et les polluants atmosphériques.

Également, les effets sanitaires de la pollution de l'air varient selon les individus.

Les sujets les plus sensibles sont ainsi :

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

Les gaz et particules émis lors de la combustion du carburant présentent individuellement pour l'homme un risque toxicologique qui est relativement connu pour la plupart d'entre eux.

Cependant, afin de définir le risque toxicologique des émissions automobiles à l'égard de la santé humaine, il faut considérer un ensemble, c'est à dire étudier la composition chimique d'un mélange gaz/particules et analyser la toxicité, l'interaction et les synergies des éléments qui le composent. Les connaissances dans ce domaine sont moins développées.

Les paragraphes ci-dessous présentent les effets sanitaires des principaux polluants de l'air, à savoir : les oxydes d'azote [NOx], les particules [PM], le monoxyde de carbone [CO], les composés organiques volatils [COV], le benzène, le dioxyde de soufre [SO₂] le benzo(a)pyrène et les métaux lourds.

Les oxydes d'azotes (NOx)

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

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

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

Les particules (PM)

Les particules peuvent irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire (surtout chez l'enfant et les personnes sensibles).

Plus une particule est fine, plus sa toxicité potentielle est élevée.

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

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

L'une des propriétés les plus dangereuses des poussières est de fixer des molécules gazeuses irritantes ou toxiques présentes dans l'atmosphère (par exemple, des sulfates, des métaux lourds, des hydrocarbures). Ainsi, les particules peuvent avoir des conséquences importantes sur la santé humaine et être responsables de maladies pulmonaires chroniques de type asthme, bronchite, emphysemes (les alvéoles pulmonaires perdent de leur élasticité et se rompent) et pleurésies (inflammation de la plèvre, la membrane qui enveloppe chacun de nos poumons).

Ces effets (irritations des voies respiratoires et/ou altérations de la fonction respiratoire) s'observent même à des concentrations relativement basses.

Certaines particules ont aussi des propriétés mutagènes et cancérogènes (particules diesel).

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

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

- Les particules plus grandes que les PM10 n'ont, pour ainsi dire, aucun effet.
- Les particules grossières (différence massique estimée entre les PM10 et les PM2,5 ou entre les PM10 et les PM1), tout comme les particules fines (dont la masse estimée se situe à PM2,5 ou PM1) ou encore les particules ultrafines (estimées en nombre, pour les tailles inférieures à 0,1 µm) ont des incidences sur la mortalité et la morbidité. Leurs effets sont largement indépendants les uns des autres.
- La fraction grossière des PM10 est plus fortement corrélée avec la toux, les crises d'asthme et la mortalité respiratoire, alors que les fractions fines ont une incidence plus forte sur les dysfonctionnements du rythme cardiaque ou sur l'augmentation de la mortalité cardio-vasculaire. Mais les effets des particules fines ne s'expliquent pas uniquement par ceux des particules ultrafines, pas plus que les effets des particules grossières ne s'expliquent par ceux des particules fines.
- Compte tenu des concentrations et des variations que l'on rencontre habituellement aujourd'hui, les fractions grossières, fines et ultrafines ont des effets de même importance.
- Les effets sur la mortalité respiratoire sont ressentis immédiatement ou le jour suivant l'exposition à une forte charge en particules. Les effets sur la mortalité cardio-vasculaire se manifestent le plus fortement après 4 jours environ. Cela signifie que l'effet des particules grossières est ressenti immédiatement ou très rapidement après l'exposition et que celui des particules fines et ultrafines l'est de manière un peu différée (jusqu'à 4 jours après l'accroissement de la charge). Par ailleurs, si le risque relatif est plus grand pour la mortalité respiratoire, la mortalité cardio-vasculaire fait davantage de victimes.
- Les personnes souffrant d'affections des voies aériennes inférieures, d'insuffisance cardiaque et les personnes de plus de 65 ans présentent un risque accru.
- Les effets ont été démontrés par des études épidémiologiques, toxicologiques et cliniques.

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

- Les effets chroniques sont plus importants que les effets aigus ;

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

Le monoxyde de carbone (CO)

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

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

Les composés organiques volatils (COV)

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

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

Le benzène (C₆H₆)

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

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

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

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

Ces symptômes apparaissent à des concentrations variables selon les individus :

- À 25 ppm, pas d'effet ;
- De 50 à 100 ppm, apparaissent céphalées et asthénie ;

- A 500 ppm, les symptômes sont plus accentués ;
- A 3 000 ppm, la tolérance est seulement pendant 30 à 60 minutes ;
- A 20 000 ppm, la mort survient en 5 à 15 minutes.

Le dioxyde de soufre (SO₂)

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

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

Le plomb (Pb)

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

Le plomb est un toxique neurologique, rénal et sanguin.

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

Le cadmium (Cd)

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

L'arsenic (As)

La grande majorité des informations disponibles, relatives à l'exposition par inhalation à l'arsenic, provient de situations professionnelles (fonderies, mines ou usines de produits chimiques) et rapporte des effets principalement au niveau de :

- - l'appareil respiratoire (emphysème, pneumoconiose) ;
- - du système cardiovasculaire (maladie de Raynaud) ;
- - de la peau (hyperkératose et hyperpigmentation) ;
- - du système nerveux périphérique (neuropathies, diminution de la conduction nerveuse).

Le nickel (Ni)

Les études chez l'homme (et l'animal) indiquent que le système respiratoire est la cible principale de la toxicité du nickel par inhalation. Une augmentation de l'incidence des décès par pathologie respiratoire a été trouvée chez des travailleurs exposés chroniquement au nickel. Les effets respiratoires étaient de type bronchite chronique, emphysème et diminution de la capacité vitale

Le benzo(a)pyrène (BaP)

Les études rapportées dans la littérature ne permettent pas de conclure quant au caractère cancérogène du benzo[a]pyrène à lui seul chez l'homme. Les études chez l'animal indiquent que le benzo[a]pyrène induit des tumeurs chez de nombreuses espèces animales par les trois voies d'exposition possibles : pulmonaire, orale et cutanée. Les effets rapportés correspondent, une action à la fois locale et systémique.

20.2. CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET IMPACTS SUR LA SANTÉ

Comme à l'échelle mondiale, l'évolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine montre un réchauffement net depuis 1900. Ce réchauffement a connu un rythme variable, avec une augmentation particulièrement marquée depuis les années 1980. Sur la période 1959-2009, la tendance observée est d'environ + 0,3°C par décennie. En France, 2014, 2011 et 2015 ont été les trois années les plus chaudes observées depuis 1990 (source : Chiffres clés du climat, France et Monde, Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS), édition 2017).

L'évolution du climat modifie la fréquence, l'intensité, l'étendue, la durée et le moment d'apparition des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes. Les vagues de chaleur recensées depuis 1947 à l'échelle nationale ont été deux fois plus nombreuses au cours des 34 dernières années que sur la période antérieure.

Cette évolution se matérialise aussi par l'occurrence d'événements plus forts (durée, intensité globale) au cours des dernières années.

En France, selon le scénario intermédiaire du GIEC, le nombre de jours anormalement chauds devrait augmenter dans le futur, avec vraisemblablement plus de 100 jours supplémentaires par an à l'horizon 2100.

Le sud et l'est de la France seraient les régions les plus affectées par ces changements.

20.3. IMPACTS DIRECTS DES CANICULES ET DES FORTES CHALEURS SUR LA SANTÉ

La région Provence-Alpes-Côte-d'Azur présente une exposition élevée aux épisodes de canicules remarquables de plus en plus fréquents, tout comme le reste du territoire métropolitain. Depuis 2015, chaque été a présenté un épisode caniculaire remarquable, faisant suite à ceux de 2003 et 2006 pour le 21^e siècle.

En France métropolitaine²⁸, les mois de juin et juillet 2019 ont été marqués par deux canicules très étendues et intenses. Lors de ces deux canicules, pour la première fois depuis la mise en place du plan national canicule (PNC), des départements métropolitains ont été placés en vigilance rouge, compte-tenu des températures diurnes exceptionnelles. Les 2 vagues de chaleur se sont étendues du 24 juin au 07 juillet et du 21 au 27 juillet. La figure suivante donne les caractéristiques de ces épisodes.

Dates	Régions concernées	Nombre de départements ¹	Durée moyenne par départements (jours)	% de la population touchée
24/06 – 07/07	Toutes les régions métropolitaines à l'exception des Hauts-de-France	58	5,4	60 %
21/07 – 27/07	Toutes les régions métropolitaines à l'exception de la Corse	74	4,3	78 %

1 – Départements concernés par au moins un jour de dépassement effectif des seuils d'alerte.

Figure 133 : Caractéristiques des différentes vagues de chaleur de l'été 2019 en France métropolitaine (source : Santé Publique France)

L'étendue géographique a été notable, puisque durant l'été 2019, potentiellement plus de 60 millions de personnes domiciliées dans les départements touchés ont été exposées au moins un jour à des températures dépassant les seuils d'alerte, ce qui représente 93 % de la population.

Plusieurs pics de pollution à l'ozone concomitants à ces deux vagues de chaleur ont été observés notamment dans les régions Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Grand Est, Ile-de-France, Occitanie et **Provence-Alpes-Côte-d'Azur**, qui ont été placées en dispositif d'alerte.

En Provence-Alpes-Côte d'Azur, ces deux épisodes caniculaires ont entraîné des dépassements des seuils d'alerte (canicule) pour la totalité de la région lors du premier épisode de juin et pour 2 départements (Alpes-de-Haute-Provence et Hautes-Alpes) lors du deuxième épisode, fin juillet. Deux départements (Bouches-du-Rhône et Vaucluse) ont été, pour la première fois, placés en vigilance rouge canicule (2 jours consécutifs) lors du 1^{er} épisode.

²⁸ Bulletin de Santé Publique Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Été 2019. Canicule et Santé. Santé Publique France.

En PACA, l'intensité des canicules 2019 est comparable à celle de 2018 (figure suivante).

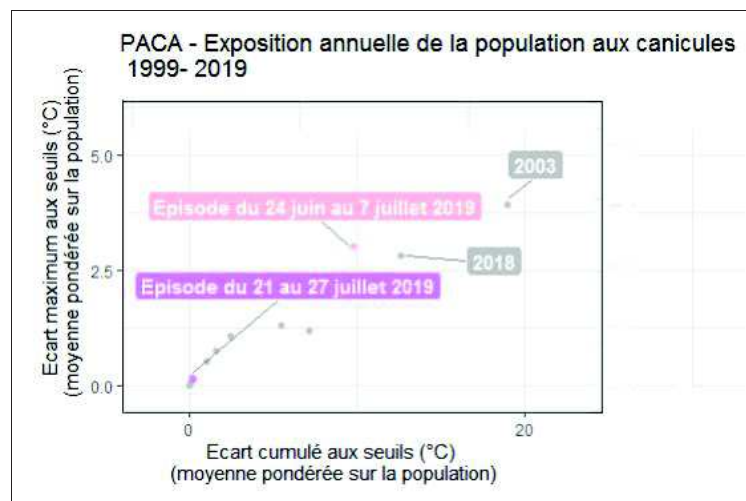


Figure 134 : Caractéristiques des canicules 2019 par rapport aux autres canicules survenues en Provence-Alpes-Côte d'Azur depuis 1999 (Source : Santé Publique France)

En région PACA, un impact significatif sur la santé a été constaté lors de ces périodes :

- Sur les périodes de dépassement des seuils d'alerte et pour les départements concernés de la région, 102 [59-138] décès en excès ont été estimés soit une surmortalité relative de 8,5 %. Le premier épisode caniculaire, plus intense, a totalisé, à lui seul, près de 93 décès. Les personnes âgées de 65 à 74 ans ont été les plus concernées (41 décès) pour les deux épisodes, alors que l'impact relatif le plus important (+ 39,3 %) est observé chez les 15-44 ans.
- Les pathologies en lien avec la chaleur (définies par l'indicateur iCanicule regroupant hyperthermies, déshydratations et hyponatrémies) ont représenté 1,7 % des passages aux urgences et 2,5 % des actes SOS Médecins lors du premier épisode. Lors du second épisode, cette activité était inférieure, avec 0,8 % des passages aux urgences et 0,9 % des actes SOS Médecins. Le taux d'hospitalisation après passage aux urgences lors de ces deux épisodes était respectivement de 52,9 % et 62,0 %.

Si l'impact a été plus important chez les 75 ans et plus, toutes les classes d'âge ont été concernées.

Tableau 75 : Répartition des décès en excès pendant les épisodes de canicules de 2019 par tranches d'âge sur les jours de dépassement effectif des seuils – PACA [Santé Publique France]

	Décès en excès Moyenne [minimale ; maximale]	Mortalité relative Moyenne [minimum ; maximum]
Moins de 15 ans	-2 [-4 ; 0]	-27,5 % [-41,4 % ; -5,5 %]
15-44 ans	10 [1 ; 17]	39,3 % [2,3 % ; 97,0 %]
45-64 ans	22 [11 ; 35]	15,4 % [6,9 % ; 27,0 %]
65-74 ans	41 [24 ; 58]	21,4 % [11,7 % ; 33,9 %]
75 ans et plus	32 [-8 ; 62]	3,8 % [-0,9 % ; 7,7 %]
TOTAL	102 [59 ; 138]	8,5 % [4,7 % ; 11,8 %]

Les planches ci-dessous présentent l'intensité de chaleur (valeur maximale du dépassement des températures observées par rapport aux températures d'alerte sur la période de survenue) par département, et la surmortalité pour chacun des épisodes de canicules 2019.

Les Alpes-Maritimes ont été relativement épargnées par les canicules 2019. L'intensité de chaleur pour le premier épisode était 'moyenne'.

Aucun dépassement des seuils canicules n'est survenu lors du second épisode.

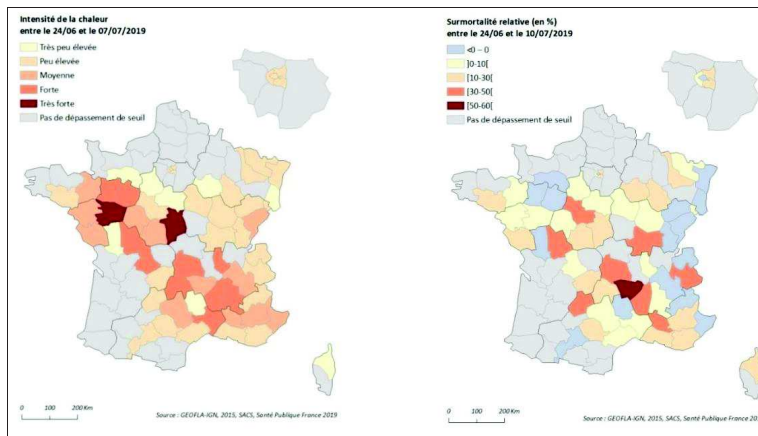


Figure 135 : Intensité de chaleur sur les jours de dépassement effectif des seuils départementaux par département pour la période du 24 juin au 07 juillet 2019 (à gauche) et surmortalité relative (%) du 24 juin au 10 juillet 2019 , France métropolitaine [Santé Publique France]

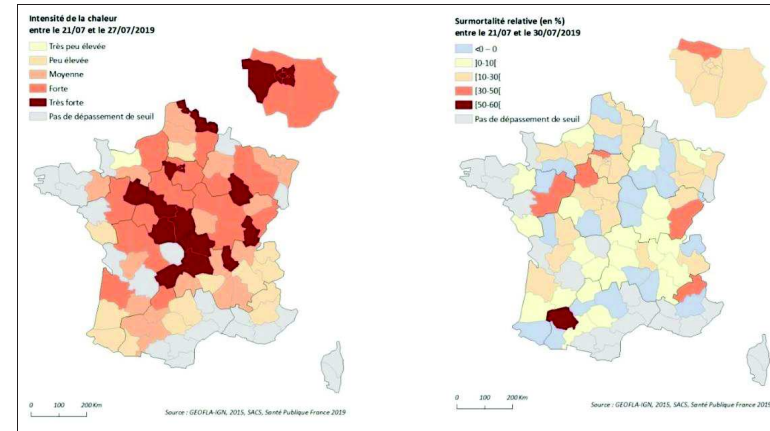


Figure 136 : Intensité de chaleur sur les jours de dépassement effectif des seuils départementaux par département pour la période du 21 au 27 juillet 2019 (à gauche) et surmortalité relative (%) du 21 au 30 juillet 2019 , France métropolitaine [Santé Publique France]

Ces épisodes 2019 sont loin du bilan de la canicule de 2003. Le bilan national de ces épisodes de canicule est, sur les périodes de dépassement effectif des seuils départementaux, en moyenne de 1 462 [548-2 221] décès en excès dans les départements concernés. Cela représente une surmortalité moyenne de 9,2 % [3,2 %-14,6 %].

Pour comparaison, en 2003, l'estimation de la surmortalité nationale liée à la canicule d'août, a été d'environ 14 800 décès supplémentaires par rapport à la mortalité habituelle de cette période de l'année.

Lors de la canicule de 2003, les températures moyennes journalières ont atteint 31°C au cœur de Nice.

Selon les scénarios du GIEC [Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat] la hausse attendue des températures d'ici la fin du siècle pourrait atteindre 5,7°C en période estivale. Le nombre de jours chauds devrait également augmenter. Dans ce contexte, l'exposition aux épisodes de canicule pourrait croître de façon significative.

La figure suivante fait état des vagues de chaleur en fonction de leur durée, en France entre 1947 et 2019.

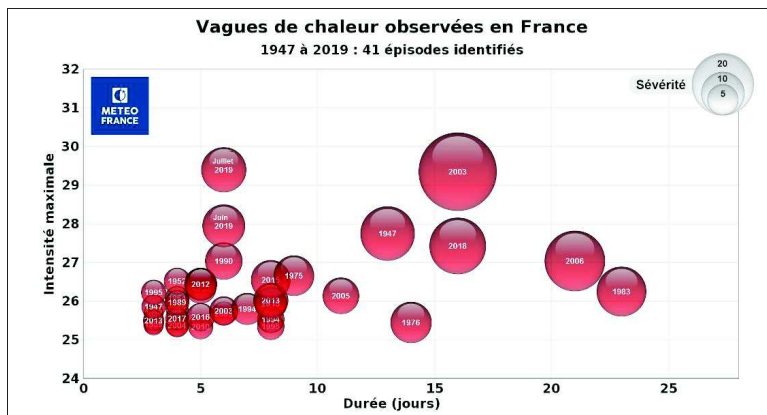


Figure 137 : Vagues de chaleur recensées en France sur la période 1947- 2019 (source : météoFrance)

Sur les 41 vagues de chaleurs détectées depuis 1947 :

- 9 ont eu lieu avant 1989, contre 32 entre 1989 et 2019. Il y a donc eu plus de 3 fois plus de vagues de chaleur ces 30 dernières années que durant les 42 années précédentes ;
- 23 vagues de chaleur, soit plus de la moitié, ont eu lieu après 2000 ;
- depuis 2010, on dénombre 17 vagues de chaleur et seule l'année 2014 n'en a pas subi.

Alors qu'on comptait en moyenne moins de 5 jours de vagues de chaleur²⁹ sur la période 1976-2005, on estime qu'il y a 3 chances sur 4³⁰ pour que ce nombre augmente au moins de 5 à 10 jours supplémentaires dans le sud-est, et de 0 à 5 ailleurs à l'horizon 2021-2050. Le contrôle des émissions de gaz à effet de serre déterminera leur stabilisation dans la seconde moitié du XXIe siècle.

Ainsi, on estime aussi que ce nombre n'augmenterait que faiblement au cours de la deuxième moitié du XXIe siècle dans un scénario avec politique climatique qui conduirait à stabiliser le réchauffement climatique avant la fin du siècle.

²⁹ Les vagues de chaleur sont définies ici comme 5 jours consécutifs avec une température maximale supérieure de 5 degrés à la normale 1976-2005, selon le « rapport sur les scénarios climatiques pour la France »

³⁰ Rapport "Le climat de la France au 21e siècle" « Scénarios régionalisés édition 2014 » publié par le ministère de l'Écologie

En revanche, sans politique climatique, le nombre de jours de vagues de chaleur augmente drastiquement par rapport à la période 1976-2005 (figure suivante).

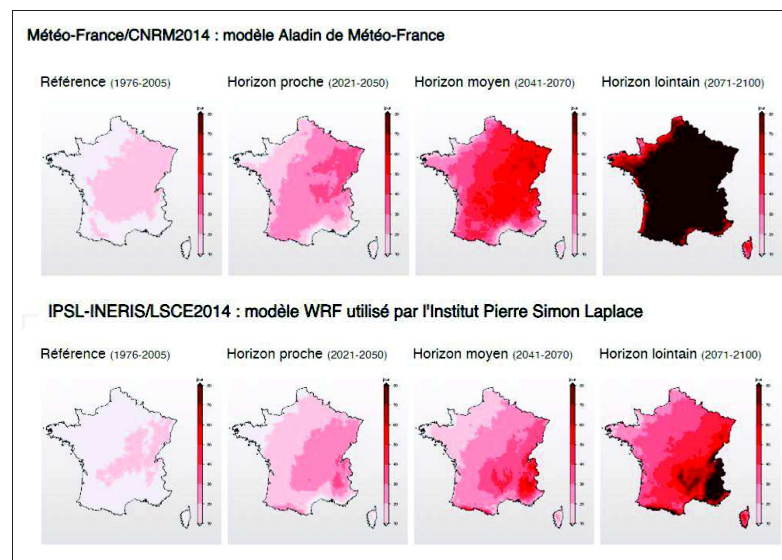


Figure 138 : Évolution du nombre de jours de vagues de chaleur en France par an selon le scénario RCP8.5 (sans politique climatique) et les modèles Aladin de Météo-France (en haut) et WRF de l'IPSL (en bas) ; échelle graduée de 10 à 80 jours (source : <http://www.drias-climat.fr>)

Au-delà de l'exposition aux épisodes de canicule, les aménagements urbains actuels favorisent le phénomène d'îlots de chaleur dans les zones urbaines et périurbaines, augmentant de ce fait la sensibilité des populations aux canicules.

La vulnérabilité actuelle de la population est forte. Cela s'explique par différents facteurs :

- **Démographique** : les personnes âgées étant les plus vulnérables ;
- **Sociale** : les personnes fragilisées sur le plan économique ou social (isolement, etc.) sont particulièrement sensibles ;
- **Économique** : la canicule a également un impact sur le rythme de vie et la santé au travail ;
- **Culturel** : la faible culture du risque « chaleur » en Île-de-France, comparativement aux régions du sud de la France ;
- **Organisationnel** : l'accessibilité aux soins et la performance opérationnelle du plan canicule constituent un facteur de vulnérabilité non négligeable.

Le retour d'expérience de la canicule d'août 2003 a révélé cette forte vulnérabilité, comme en témoigne l'importance de son coût humain.

Au-delà de l'augmentation significative de l'exposition aux canicules, c'est probablement l'augmentation de leur fréquence qui pourrait accroître la fragilité des populations et mettre à mal les systèmes de gestion de crise.

La vulnérabilité future, déjà forte aujourd'hui, dépendra de plusieurs facteurs :

- La capacité à réduire la fragilité des populations âgées et/ou dépendantes, dont le nombre augmentera significativement en Île-de-France (vieillesse de la population) dans un contexte de solidarité familiale incertain. Cette tendance lourde induit la nécessité d'augmenter l'offre d'aides, aussi bien à domicile qu'en établissement, afin de répondre aux besoins des futures personnes dépendantes et de réduire leur faiblesse future ;
- La capacité à réduire l'augmentation tendancielle des inégalités sociales (notamment pour la population âgée de 60 ans ou plus) constitue un facteur non négligeable, notamment en matière d'accès à un logement adapté et de dépenses pour l'accès aux soins ;
- La capacité à adapter le rythme de travail lors des périodes de fortes chaleurs ;
- La capacité à maintenir la robustesse du système d'alerte et de gestion de crise, dans un contexte d'augmentation de la fréquence de ces épisodes, via la mise en place d'un système préventif performant en amont des crises pour éviter l'engorgement des services d'urgence ;
- La capacité à apporter des réponses en matière d'aménagement (qui dépend de la prise en compte du changement climatique dans les aménagements : bâti, présence de la nature en ville, inégalités territoriales, etc.).

Les épisodes caniculaires peuvent être accompagnés de pics de pollutions à l'ozone, dont l'impact sur la santé humaine se traduit par une infection des muqueuses respiratoires et oculaires, notamment chez les personnes fragiles (enfants en bas âge et personnes âgées). Des liens entre la concentration en ozone et la surmortalité ont été établis : sur la période 1996-2003 en agrégeant les résultats obtenus pour 9 villes françaises, l'association correspond à une hausse de 1,01 % du risque de mortalité pour une augmentation de 10 µg/m³ de la concentration en ozone. Cependant, sur la période de la canicule de 2003, les excès de mortalité attribués à la température ou à l'ozone sont très disparates selon les villes. De même, la contribution de l'ozone à cet excès varie très fortement, allant de moins de 3 % à Bordeaux, à plus de 85 % à Toulouse³¹. Néanmoins, les résultats confirment

³¹ Relation entre température, ozone et mortalité dans neuf villes françaises pendant la vague de chaleur de 2003 – Analyse commentée de l'article paru dans Environ Health Perspect. 2006 ; 114 :1344-47

l'impact non négligeable sur la santé publique de la concentration d'ozone en zone urbaine.

La vulnérabilité actuelle aux pics de pollution à l'ozone peut donc être qualifiée d'élévée en fonction des zones géographiques.

L'augmentation des températures moyennes estivales, de la fréquence et de l'intensité des canicules pourrait entraîner une augmentation de la pollution à l'ozone. Cependant, les politiques menées en matière de qualité de l'air permettent d'ores et déjà de réduire les émissions de polluants.

Le vieillissement de la population et l'augmentation possible des populations allergiques pourraient entraîner une augmentation du nombre de personnes exposées à cette pollution. Quoi qu'il en soit, il demeure complexe de prévoir l'évolution de la pollution atmosphérique future, ne serait-ce qu'au regard des politiques d'amélioration de la qualité de l'air et d'atténuation du changement climatique menées aujourd'hui.

20.4. IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES MALADIES ALLERGIQUES

Les chercheurs ont déjà pu observer des effets liés au réchauffement tels qu'une augmentation de la période d'exposition aux pollens, liée à une pollinisation plus précoce pour certaines espèces, à un allongement de la période de pollinisation et à une modification de la répartition des végétaux sur le territoire. De plus, l'accentuation de la pollution atmosphérique stresse les plantes qui se mettent à produire davantage de pollens.

Les allergies aux pollens concernent aujourd'hui un français sur six, et les habitants des zones urbaines y sont particulièrement sensibles.

En PACA, en 2018, la saison pollinique s'est étalée de janvier à septembre (figure ci-après).

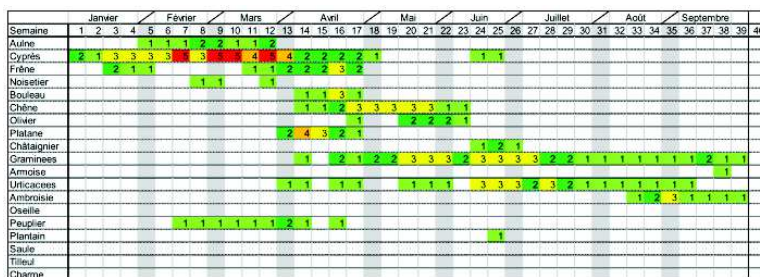


Figure 139 : Calendrier pollinique 2018 en PACA basé sur la valeur médiane des risques d'allergie d'exposition aux pollens de chaque ville pour lesquels des analyses de pollen sont réalisées (source : RNSA / AtmoSud/ARS)

D’après le Baromètre santé environnement 2017 en PACA, une sensibilité aux pollens est déclarée par 44 % des habitants de la région (répondant à l’enquête) et parmi eux 61 % ont jugé que leur sensibilité avait augmenté au cours des 5 dernières années. La moitié sud de la région Provence-Alpes-Côte d’Azur est notamment caractérisée par un risque allergique très élevé aux pollens de cyprès (février-mars) et élevé aux pollens de platane (avril).

Avec le changement climatique, la période de pollinisation pourrait s’allonger davantage. La concentration atmosphérique en grains de pollen pourrait également s’accroître. Les professionnels de santé s’attendent dès lors à un accroissement du nombre de pathologies, sans qu’il soit possible d’en évaluer l’ampleur.

La vulnérabilité future des populations est susceptible d’évoluer à la hausse. Cette vulnérabilité, en milieu urbain, sera notamment fonction du choix des espèces dans le cadre des politiques de végétalisation. L’enjeu majeur consiste à éviter l’aggravation des allergies vers des pathologies plus lourdes, comme l’asthme. Le tableau qui va suivre présente les principaux pollens allergisants.

Tableau 76: Principaux pollens allergisants

Potentiel allergisant (0 = nul ; 5 = très fort)								
Arbres								
Cyprès	Bouleau	Chêne	Charme	Frêne	Platan	Peuplier	Saule	Noisetier
5	5	4	4	4	4	3	3	3
Hêtre	Olivier	Tilleul	Aulne	Mûrier	Châtaignier	Orme	Pin	
3	3	3	3	3	2	1	0	
Herbacées								
Graminées (1)	Ambroisie	Armoise	Pariétaire	Chénopode	Plantain	Oseille	Ortie	
5	5	4	4	3	3	2	1	

(1) phléole, ivraie, dactyle, paturin

Le Réseau National de Surveillance Aérobiologique (RNSA) fournit un guide de la végétation en ville afin de planter en se prévenant des risques allergiques et permettre une reconnaissance des espèces allergisantes³².

20.5. IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES MALADIES INFECTIEUSES ET VECTORIELLES

Avec le changement climatique, l’exposition aux risques sanitaires liés aux maladies infectieuses et vectorielles pourrait augmenter.

Entre autres, l’augmentation des températures moyennes pourrait en effet créer des conditions favorables à leur implantation et/ou à leur développement. Le développement de maladies infectieuses dans le cadre d’un événement de crue extrême est aussi un risque à envisager. Pour ce qui concerne la vulnérabilité future à ces risques sanitaires, elle reste difficile à évaluer. Elle dépendra de plusieurs facteurs, notamment de la capacité régionale d’alerte et de gestion de crise dans le cas d’une épidémie/épidémie, ainsi que des moyens mis en œuvre pour contrôler le développement éventuel d’habitats favorables au développement ou à l’implantation des microorganismes infectieux ou parasitaires.

Le changement climatique peut impacter la distribution de maladies infectieuses et vectorielles de diverses manières, notamment³³ :

- Directement, en termes de développement du vecteur et/ou du parasite ;
- Indirectement, en termes de distribution et d’abondance des vecteurs ;

³² <http://www.vegetation-en-ville.org/> (site du RNSA)

³³ Influence du réchauffement climatique sur la propagation des maladies vectorielles et de leurs vecteurs – Centre national d’expertise sur les vecteurs – 23 février 2016

- Indirectement, à travers des modifications d'ordre socio-économiques susceptibles de modifier le contact homme-vecteur ;
- Indirectement ; à travers la modification de la composition des espèces végétales (biotope) et animales (hôtes, réservoirs).

Par exemple : l'apparition d'*Aedes albopictus* (le moustique tigre) sur le territoire métropolitain depuis 2004 (liée à la densification des transport) et implanté actuellement dans 51 départements sur les 96 départements métropolitains (2018).

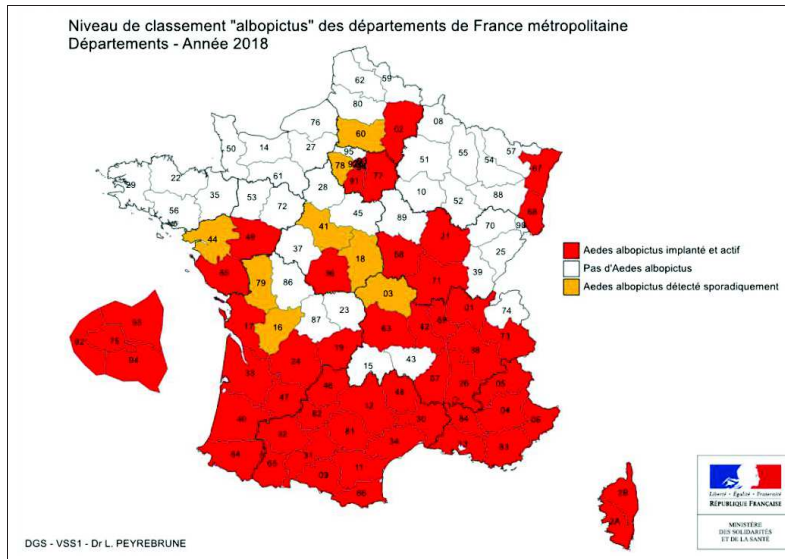


Figure 140 : Carte d'implantation du moustique tigre en 2018 en France métropolitaine

Ce moustique est un vecteur de maladies telles que la dengue, le chikungunya, le Zika. Les premiers cas de contamination autochtone des maladies portées par ce moustique en métropole sont apparus en 2010. Plus récemment, un autre type de moustique, très répandu, le *Culex pipiens*, a transmis un autre type de virus : le virus du Nil occidental (ou West Nile Virus).

Le nombre de cas autochtones certains ou probables est globalement en augmentation (35 en 2018 ; 19 en 2017 pour 4 en 2010)³⁴. Le changement climatique entre en jeu dans l'apparition des cas autochtones, et pas seulement pour des questions de température. Ainsi, les onze cas autochtones de chikungunya de Montpellier seraient liés aux pluies exceptionnelles de 2014, qui ont provoqué la prolifération des insectes vecteurs de la maladie³⁵.

Aedes albopictus est apparu dans les Alpes-Maritimes en 2004 et est aujourd'hui installé et actif. La population exposée dans le département est estimée entre 800 000 et 1 600 000 personnes.

Il s'agit du premier département métropolitain colonisé par le moustique tigre de façon durable.

La majorité des cas autochtones de maladies portées par ce moustique a été recensée sur le territoire de la région PACA (cf figure suivante).

Année	Mois	Région	Département	Code dept.	Virus	Nb. Total de cas
2010	sept	PACA	Alpes-Maritimes	06	Dengue	2
2010	sept	PACA	Var	83	Chik.	2
2013	oct	PACA	Bouches-du-Rhône	13	Dengue	1
2014	août	PACA	Var	83	Dengue	1
2014	oct	PACA	Bouches-du-Rhône	13	Dengue	2
2014	sept	PACA	Var	83	Dengue	1
2014	oct	Occit.	Hérault	34	Chik.	12
2015	août	Occit.	Gard	30	Dengue	7
2017	août	PACA	Var	83	Chik.	17
2017	sept	PACA	Alpes-Maritimes	06	West-Nile	2
2018	juil	PACA	Alpes-Maritimes	06	West-Nile	22
2018	août	Occit.	Pyrénées orientales	66	West-Nile	1
2018	sept	PACA	Vaucluse	84	West-Nile	1
2018	août/sept	Corse	Corse du Sud	2A	West-Nile	2
2018	sept	PACA	Bouches-du-Rhône	13	West-Nile	1
2018	sept	Occit.	Gard	34	Dengue	1
2018	sept	Occit.	Hérault	34	Dengue	2
2018	oct	PACA	Alpes-Maritimes	06	Dengue 2	5

Figure 141 : Recensement des cas autochtones de maladies transmises par le moustique tigre entre 2010 et 2018

³⁴<https://solidarites-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-microbiologiques-physiques-et-chimiques/especes-nuisibles-et-parasites/article/cartes-de-presence-du-moustique-tigre-aedes-albopictus-en-france-metropolitaine>

³⁵ <https://lejournal.cnrs.fr/articles/moustique-tigre-une-inquietante-invasion>

21. EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE SUR LA FAUNE, LA FLORE, LE SOL ET LES BATIMENTS

21.1. EFFETS SUR LES SOLS

La pollution de l'air a deux effets sur les sols :

- La contamination des sols avec des substances potentiellement toxiques (les métaux lourds, par exemple) ;
- L'acidification des sols.

La contamination du sol est due à la présence de polluants qui ont été dispersés, puis déposés sur le sol.

Des études ont montré que les dépôts de métaux lourds sont plus importants à proximité de la route (5 m à 25 m) et sont approximativement divisés par deux à 100 m de la voie. Ces résultats ont été confirmés par d'autres études portant sur la contamination des végétaux implantés près des voies de circulation. Les résultats indiquent que la contamination en métaux lourds (plomb, cadmium et zinc) est plus importante à proximité de la route (de 0,5 à 10 m) et devient beaucoup plus faible à une distance de 20 m. (Ward, 1994 ; Ylaranta, 1994 ; Malbreil, 1997 ; Garcia & Milan, 1998).

Les principaux effets de l'acidification sur la flore sont dus au dépôt de substances acidifiantes, comme par exemple :

- Le dioxyde de soufre ;
- Les oxydes d'azote ;
- L'ammoniac.

Les effets de l'acidification varient géographiquement et dépendent d'une combinaison de deux facteurs : la quantité de dépôts (sec et humide) et la sensibilité naturelle du récepteur en question (sol et eau).

L'acidification réduit considérablement la fertilité des sols, en affectant essentiellement leur biologie, en décomposant les matières organiques et en provoquant la perte de substances nutritives. De plus, l'acidification des sols est un facteur déterminant de la libération de cations tels que le fer, l'aluminium, le calcium, le magnésium ou les métaux lourds (présents dans le sol en quantités significatives, mais de façon généralement très peu mobile). Cela a pour effet de réduire le pouvoir tampon des sols (par la décomposition des minéraux argileux) et, partant, de modifier leur capacité à neutraliser l'acidité.

Ce phénomène se produit notamment sur les sols dotés d'un faible pouvoir tampon et constitue un problème grave, car irréversible.

Enfin, l'acidification des sols est étroitement liée à l'acidification de l'eau, qui peut affecter la vie aquatique, les eaux souterraines et l'approvisionnement en eau potable qui y est lié.

21.2. EFFETS SUR LA VÉGÉTATION

La pollution atmosphérique gazeuse et particulaire affecte la végétation.

La pollution gazeuse pénètre dans les plantes par des orifices situés sur les feuilles, les stomates. La plante réagit en fermant ces stomates et en fabriquant des enzymes. L'absorption des polluants entraîne des perturbations au niveau d'un grand nombre de processus physiologiques cellulaires. La plante, pour faire face à ce stress extérieur, y remédie en mettant en place des processus de rétablissement. Si ces processus s'avèrent insuffisants pour réparer ou compenser les dysfonctionnements cellulaires, des dommages apparaissent sur la plante. À fortes doses, ces dommages peuvent être irréversibles et causer des mortalités cellulaires et l'apparition de nécroses foliaires.

La pollution particulaire se dépose sur les sols et est ensuite absorbée par les racines des plantes. Les polluants sous forme soluble sont les plus toxiques car ils sont assimilables par les plantes. Absorbés par les racines, ils peuvent ainsi s'accumuler dans la plante et contaminer la chaîne alimentaire.

Les possibilités d'accumulation des métaux dans les plantes varient en fonction de nombreux paramètres, comme par exemple les propriétés du sol (pH, composition), le type d'élément, le type d'espèce et le type d'organe considérés. Par ailleurs, l'observation de caractéristiques différentes de routes montre que la contamination des sols varie selon la géométrie de l'infrastructure (remblai, déblai) et les conditions climatiques locales.

Les polluants primaires sont peu phytotoxiques. Les effets sur les végétaux sont provoqués essentiellement par la transformation en polluants secondaires :

- Pluies acides ;
- Formation d'ozone beaucoup plus phytotoxique (périodes chaudes).

Les concentrations en polluants secondaires sont faibles en milieu urbain.

Ainsi, il y a peu d'effets sur la végétation.

En milieu interurbain, les polluants (principalement l'ozone, généré en milieu urbain) se répartissent sur de larges zones. Les concentrations, même à faible niveau, entraînent une réaction de défense des végétaux. Les exploitations agricoles et forestières en subissent directement les conséquences par une diminution de leur rendement.

Ozone (O₃)

L'ozone est un oxydant puissant, qui réagit directement avec les composés chimiques présents à la surface des cellules végétales (parois et membranes).

L'ozone peut entraîner des dégâts foliaires entraînant un vieillissement prématuré des feuilles, et donc une photosynthèse moins longtemps efficace, aboutissant à une diminution de la croissance et de la production des plantes. Cependant, l'impact sur le fonctionnement des plantes reste limité si juste une faible proportion de la surface des feuilles est endommagée.

L'ozone peut également avoir pour conséquence des perturbations du métabolisme sans dégâts apparents, mais qui conduisent à une diminution de la croissance ou de la productivité des cultures :

- Réduction de la photosynthèse ;
- Augmentation de la respiration : une partie des sucres élaborés par la photosynthèse est consommée par la respiration pour fournir l'énergie nécessaire à la réparation des tissus abîmés par l'ozone.

Particules en suspension (PM)

Les effets des poussières sur les écosystèmes sont encore assez peu connus.

Cependant, il est possible de citer plusieurs effets directs des particules sur la végétation :

- Blocage des échanges gazeux ;
- Dégradation ou abrasion de la cuticule ;
- Diminution de la photosynthèse ;
- Développement d'organismes pathogènes, comme les champignons.

Cela peut engendrer des stress sur les plantes, se traduisant par exemple par la multiplication des feuillaisons des arbres.

Les cultures maraîchères, fruitières et fourragères sont les plus exposées et présentent plus de risque de transfert vers l'animal et l'homme. Par ailleurs, les céréales sont relativement protégées par leur enveloppe.

La majorité des poussières ne présente qu'une contamination de surface qui peut être diminuée par le lavage des aliments. Néanmoins, les particules peuvent également avoir une action sur le milieu, notamment par l'eau et le sol. Ainsi, certains polluants, comme les métaux lourds, peuvent être assimilés par les racines des plantes et transmis aux parties comestibles.

Au niveau physiologique, les métaux lourds peuvent être divisés en deux groupes :

- Les éléments nécessaires au métabolisme, qui peuvent devenir toxiques en excès (tel le zinc) ;
- Les éléments non nécessaires (comme le plomb ou le cadmium) qui sont toxiques même à de faibles concentrations.

Dioxyde d'azote (NO₂)

Le dioxyde d'azote présente également des effets sur divers écosystèmes.

Chaque écosystème possède des caractéristiques propres (notamment le type de sol) qui déterminent la vulnérabilité de ce dernier aux apports d'azote.

Dans les écosystèmes pauvres en élément nutritifs, l'apport d'azote modifie la compétition entre les espèces, au détriment des espèces adaptées aux substrats pauvres. D'importants changements sont ainsi observés dans la composition des espèces lorsque le milieu se sature peu à peu d'azote.

On peut également noter la modification du rapport partie 'aérienne'/partie 'racinaire' des plantes.

Les surfaces de captation des eaux (racines) diminuent par rapport aux surfaces de transpiration (feuilles).

Cela entraîne une augmentation de la sensibilité à la sécheresse et au froid de la plante, avec par conséquent une réduction de la croissance de la plante (et par extension, une réduction de rendement s'il s'agit de plantes agricoles).

Impact de la pollution atmosphérique liée au trafic routier de la zone d'étude sur la végétation

Dans la réglementation française, 2 polluants (en plus de l'ozone) ont un niveau critique mentionné pour la protection de la végétation.

Il s'agit des NO_x avec un niveau critique à 30 µg/m³ (exprimé en équivalent NO₂) en moyenne annuelle et du SO₂ avec un niveau critique à 20 µg/m³ en moyenne annuelle et hivernale.

Les tableaux suivants synthétisent les résultats des modélisations pour l'ensemble des scénarios et horizons concernant les polluants visés.

Tableau 77 : Résultats des modélisations pour les oxydes d'azote – moyenne annuelle

NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Moyenne annuelle en équivalent NO ₂	Niveau critique pour la protection de la végétation			30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle	
	Horizon actuel	2023	2023	2043	2043
		Sans projet	Avec projet		
MAXIMUM	97,83	95,96	98,02	80,44	82,26
CENTILE 90	25,01	23,35	23,91	19,94	20,17
CENTILE 80	15,38	14,67	14,90	12,10	11,99
CENTILE 70	9,31	8,49	8,68	7,88	7,91
CENTILE 60	5,65	4,94	4,94	5,17	5,15
CENTILE 50	1,90	2,09	2,09	2,53	2,52
RECEPTEUR A	0,12	0,21	0,22	0,47	0,44
RECEPTEUR B	0,08	0,10	0,11	0,17	0,17
RECEPTEUR C	5,67	6,79	6,80	10,58	10,14
RECEPTEUR D	7,94	3,62	3,74	4,70	4,87
RECEPTEUR E	20,44	25,06	26,52	26,02	25,68
RECEPTEUR F	29,52	39,93	41,92	36,03	36,06
RECEPTEUR G	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
Concentrations relevées sur le périmètre Projet					
Max Projet	44,11	40,67	41,29	42,85	44,16
Centile 90	33,95	33,42	34,21	34,07	35,24
Centile 80	30,41	29,16	29,37	25,90	25,92
Centile 70	27,40	25,98	26,23	23,52	23,66
Centile 60	23,89	23,31	24,40	18,20	17,59
Centile 50	21,13	20,72	20,74	15,75	15,39
Centile 40	20,09	19,64	19,57	14,91	14,87
Centile 30	18,39	18,87	18,86	12,61	12,25
Centile 20	16,77	16,33	16,28	12,05	11,88
Centile 10	15,40	15,83	15,88	10,84	10,59
Moyenne	23,57	22,91	23,21	19,55	19,63
Nota Bene	Ces résultats considèrent l'effet des émissions des brins du réseau d'étude ainsi que des émissions des brins dont les trafics ont été fournis dans la zone d'étude.				

Niveau critique dépassé

Niveau critique respecté

Tableau 78 : Résultats des modélisations pour le dioxyde de soufre – moyenne annuelle

SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Moyenne annuelle	Niveau critique pour la protection de la végétation			20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle et hivernale	
	Horizon actuel	2023	2023	2043	2043
		Sans projet	Avec projet		
MAXIMUM	0,86	1,07	1,10	1,31	1,38
CENTILE 90	0,22	0,26	0,27	0,33	0,33
CENTILE 80	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20
CENTILE 70	0,08	0,09	0,10	0,13	0,13
CENTILE 60	0,05	0,05	0,06	0,08	0,08
CENTILE 50	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
RECEPTEUR A	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
RECEPTEUR B	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
RECEPTEUR C	0,05	0,08	0,08	0,16	0,16
RECEPTEUR D	0,07	0,04	0,04	0,08	0,08
RECEPTEUR E	0,18	0,28	0,30	0,44	0,44
RECEPTEUR F	0,26	0,45	0,47	0,59	0,60
RECEPTEUR G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Concentrations relevées sur le périmètre Projet					
Max Projet	0,39	0,46	0,47	0,70	0,73
Centile 90	0,30	0,38	0,39	0,56	0,59
Centile 80	0,27	0,32	0,33	0,43	0,44
Centile 70	0,24	0,29	0,29	0,38	0,38
Centile 60	0,21	0,26	0,27	0,30	0,29
Centile 50	0,19	0,23	0,23	0,25	0,25
Centile 40	0,18	0,22	0,22	0,24	0,24
Centile 30	0,17	0,21	0,21	0,21	0,20
Centile 20	0,15	0,18	0,18	0,19	0,19
Centile 10	0,14	0,18	0,18	0,18	0,17
Moyenne	0,21	0,26	0,26	0,32	0,32
Nota Bene	Ces résultats considèrent l'effet des émissions des brins du réseau d'étude ainsi que des émissions des brins dont les trafics ont été fournis dans la zone d'étude.				

Niveau critique dépassé

Niveau critique respecté

Regardant le SO₂, quels que soient l'horizon et le scénario, le niveau critique pour la protection de la végétation est largement respecté sur l'ensemble de la zone d'étude. Regardant les NOx, le niveau critique de protection de la végétation est dépassé sur moins de 10 % de la zone d'étude pour tous les scénarios et horizons. Au niveau du récepteur F, le niveau est dépassé pour toutes les situations futures. 30% du périmètre projet sont concernés par ce dépassement en situation actuelle et entre 20% et 30 % pour tous les horizons et scénarios futurs.

21.3. EFFETS SUR LA FAUNE

Les animaux, ou la faune, ne sont pas immunisés contre l'effet de la pollution atmosphérique. Les polluants préoccupants comprennent les pluies acides, les métaux lourds, les polluants organiques persistants (POP) et d'autres substances toxiques. (Source : gouvernement Canada).

Pour mieux comprendre cet effet, il est important de garder à l'esprit que les animaux comprennent une grande variété d'espèces, comme les insectes, les vers, les mollusques, les poissons, les oiseaux et les mammifères, dont chacune interagit différemment avec son milieu. Par conséquent, l'exposition et la vulnérabilité de chaque animal aux effets de la pollution atmosphérique peuvent aussi être différentes.

La pollution atmosphérique peut être préjudiciable à la faune de deux principales façons.

Elle :

- Détérioré la qualité de l'environnement ou de l'habitat où les animaux vivent
- Diminue la disponibilité et la qualité de l'approvisionnement alimentaire

❖ Effets de la pollution atmosphérique sur la qualité de l'habitat

Les animaux vivent sur et dans le sol aussi bien que dans l'eau. Ils doivent aussi respirer de l'air en utilisant des poumons, des ouïes ou une autre forme d'échange gazeux, comme la diffusion passive à travers la surface de la peau. Toutes ces conditions influent sur la vulnérabilité d'un animal aux effets de la pollution atmosphérique.

Les pluies acides peuvent modifier la composition chimique et la qualité du sol et de l'eau. Par exemple, les plans d'eau peuvent devenir trop acides pour que certains animaux puissent y survivre ou avoir des fonctions physiologiques normales. Les pluies acides peuvent aussi accroître la lixiviation des métaux lourds présents dans le sol, comme l'aluminium, dans les habitats aquatiques, ce qui augmente la disponibilité dans la colonne d'eau des métaux lourds comme l'aluminium et le mercure, qui sont très toxiques pour de nombreux animaux, y compris les poissons.

Certains métaux lourds, comme le mercure, peuvent être transportés dans l'atmosphère très loin de leurs sources d'émission.

Bien qu'elles ne soient pas aussi bien connues, d'autres formes de pollution atmosphérique, comme le smog, les particules et l'ozone troposphérique, détériorent la santé de la faune de la même façon que la santé humaine, et produisent des effets sur les poumons et le système cardiovasculaire.

❖ Effets de la pollution atmosphérique sur l'approvisionnement et la qualité alimentaires

Bon nombre de métaux lourds, de substances toxiques, de polluants organiques persistants (POP) et d'autres polluants atmosphériques sont nocifs pour la faune en entrant dans la chaîne trophique et en influant sur l'approvisionnement et la qualité alimentaires.

Une fois consommés, bon nombre de ces polluants s'accumulent et s'emmagasinent dans les tissus des animaux. Lorsque les animaux sont mangés par d'autres animaux de la chaîne trophique, ces polluants continuent de s'accumuler et d'accroître leur concentration. Ce processus est appelé la bioaccumulation. Les prédateurs du haut de la chaîne, comme les ours et les aigles entre autres, sont particulièrement vulnérables à la bioaccumulation de ces types de polluants atmosphériques.

Par exemple, le mercure est tellement préoccupant qu'il est recommandé de réduire la fréquence à laquelle nous mangeons certains types de poissons en raison de la quantité de ce métal lourd qui peut se retrouver dans leur chair.

Ces polluants atmosphériques peuvent être toxiques pour les animaux en perturbant leur fonction endocrinienne, en endommageant leurs organes, en accroissant leur vulnérabilité au stress et à la maladie, en diminuant leur succès de reproduction et en causant possiblement leur mort.

Les changements dans l'abondance d'une espèce causés par la pollution atmosphérique peuvent grandement influencer sur l'abondance et la santé des espèces dépendantes. Par exemple, la perte de certaines espèces de poissons due à l'augmentation des concentrations d'aluminium peut permettre aux populations d'insectes de s'accroître, ce qui peut être avantageux pour certains types de canards qui se nourrissent d'insectes, mais cette perte peut être préjudiciable aux aigles, aux balbuzards pêcheurs et à bon nombre d'autres animaux qui comptent sur le poisson pour s'alimenter.

Il est ardu de bien comprendre et déterminer dans quelle mesure et de quelle façon ces changements toucheront d'autres espèces de l'écosystème.

❖ En bref

La pollution de l'air affecte également la faune : déclin de certaines populations pollinisatrices, difficultés de certaines espèces à se reproduire ou à se nourrir. Elle modifie la physiologie des organismes, l'anatomie et les caractéristiques du biotope et des populations.

21.4. EFFETS SUR LES BÂTIMENTS

Depuis plus de deux siècles, le grand développement des industries, des transports et du chauffage a entraîné d'importantes émissions dans l'atmosphère de composés soufrés, azotés et carbonés. Ces composés sont soit gazeux (SO₂, NOx, CO, CO₂ ...), soit particulaires (cendres volantes et suies). Soumis au fil des ans à leur action, les matériaux des façades, essentiellement la pierre, le ciment et le verre, se détériorent. (Source : Airparif)

L'observation d'un bâtiment ou d'une statue révèle l'ampleur de cette dégradation physique et esthétique attribuée au dépôt et à l'accrochage de poussières noirâtres. Ainsi, sur une même façade, coexistent des zones sombres et des zones claires. Les premières, abritées de la pluie, sont couvertes d'une fine pellicule de suies associées à une faible quantité de sulfates et de carbonates. A l'inverse, les zones claires, frappées par la pluie ou parcourues par des ruissellements d'eau, offrent l'aspect d'un matériau nu, lavé ou même érodé : les particules déposées entre deux pluies ont été évacuées, ainsi que les sulfates et les carbonates qui auraient pu se former. Si les zones sombres sont anciennes et n'ont pas été nettoyées depuis quelques décennies, elles comportent non pas des pellicules fines mais des croûtes noires épaisses très sulfatées et contenant des cendres volantes. Ces croûtes épaisses se sont formées à une époque où la pollution par le dioxyde de soufre était importante.

La répartition de ces zones sombres et claires sur une même façade répond à une logique simple : les parties hautes du bâtiment, plus fréquemment atteintes par la pluie, comportent une majorité de zones claires, tandis que ses parties basses, soumises plus directement aux émissions du trafic automobile, comportent une majorité de zones sombres. Vers la base des murs, le jeu croisé de la pollution atmosphérique, de la pluie, des remontées à partir du sol d'eau chargée de sels et la plus ou moins grande fragilité de la pierre liée à sa composition et à sa porosité, amène la formation d'un puzzle de petites taches noires, grises et blanches dues au détachement périodique de petites écailles aux contours sinueux.

La surface de tous les matériaux peut se couvrir de suies noires : pierre, plâtre, ciment, béton, verre, vitrail, brique, céramique, bois, plastique, métaux... mais seuls ceux qui comportent des carbonates peuvent se sulfater en profondeur car le SO₂ les transforme facilement : c'est le cas des calcaires et des grès calcaires.

Le verre des fenêtres et des façades de beaucoup de grands immeubles contemporains est chimiquement stable du fait de sa composition (silicium, calcium et sodium) : la pluie, même acide, l'altère très peu en profondeur. En revanche, sur les zones qu'elle lave, elle laisse des traces blanchâtres ou grisâtres qui le rendent flou ; sur les zones qu'elle n'atteint

pas, des dépôts de suies noires se développeraient rapidement si des nettoyages réguliers ne les empêchaient de se former.

Le cas des vitraux anciens est plus préoccupant : de composition différente de celle des vitres modernes (silicium, calcium et potassium), ils sont facilement attaqués chimiquement par la pluie, jusqu'à être profondément corrodés, voire même troués. Dans les zones situées à l'abri de la pluie, des dépôts de suies noires se forment et demeurent en place, car on ne nettoie pas régulièrement les vitraux, sauf lors de grandes campagnes de restauration, rares et très coûteuses.

22. IMPACTS DES ÉMISSIONS DES GAZ À EFFET DE SERRE

22.1. GÉNÉRALITÉS

Le bilan des gaz à effet de serre (GES) émis par l'activité humaine constitue une étape importante dans l'établissement des principes du développement durable, dans une perspective de préservation de l'environnement.

Les trois gaz à effet de serre considérés dans les bilans des émissions de GES sont les suivants :

- Le dioxyde de carbone [CO₂]
- Le méthane [CH₄]
- Le protoxyde d'azote [N₂O]

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

Pour établir une grille de comparaison, le dioxyde de carbone (CO₂) a été choisi comme étalon. Ainsi, les émissions de GES sont-elles quantifiées en tonnes équivalent CO₂, quel que soit le GES considéré.

❖ Les GES en PACA³⁶

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur représente 10% des émissions nationales de GES. En Provence-Alpes-Côte d'Azur, les émissions de gaz à effet de serre sont imputables principalement au secteur de l'industrie manufacturière (31%), au secteur des transports (29%), et au secteur de la production d'énergie (23%) (Figure suivante).

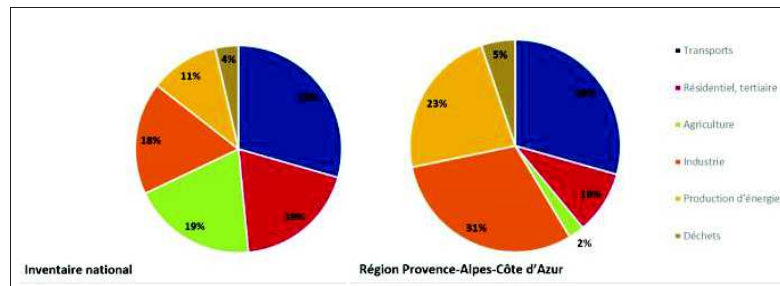


Figure 142 : Inventaire des émissions de gaz à effet de serre par secteur d'activité en France et en PACA (source : AtmoSud)

En comparaison aux émissions nationales, la région PACA présente des spécificités. En effet, le secteur de l'industrie et de la production d'énergie est un fort contributeur aux émissions de GES tandis que l'agriculture est très en deçà de la moyenne nationale. Le faible poids du secteur résidentiel/tertiaire dans l'inventaire régional constitue une autre des spécificités locales, à mettre en relation avec un climat plus favorable induisant des émissions liées au chauffage moins importantes.

Le profil des émissions de GES présente une forte disparité départementale, comme il est possible de l'observer sur le graphe ci-dessous.

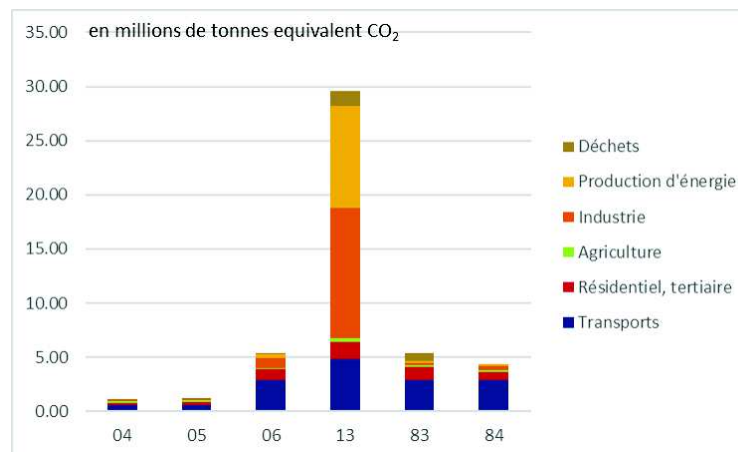


Figure 143 : Émissions de GES par département en PACA (source : AtmoSud)

³⁶ <https://www.atmosud.org/actualite/changement-climatique-zoom-sur-les-emissions-regionales-de-gaz-effet-de-serre>

Le département des Bouches-du-Rhône émet à lui seul 51% des émissions régionales de GES, en lien avec la forte activité industrielle sur son territoire. Dans les autres départements, le secteur des transports est le secteur le plus émetteur.

Les territoires des Alpes de Haute Provence et des Hautes Alpes constituent à eux deux seulement 5% des émissions régionales.

L'évolution des émissions totales de GES en PACA et en France entre 2007 et 2016 est représentée graphiquement ci-dessous tous secteurs confondus, ainsi que les émissions de GES par secteur pour la région PACA.

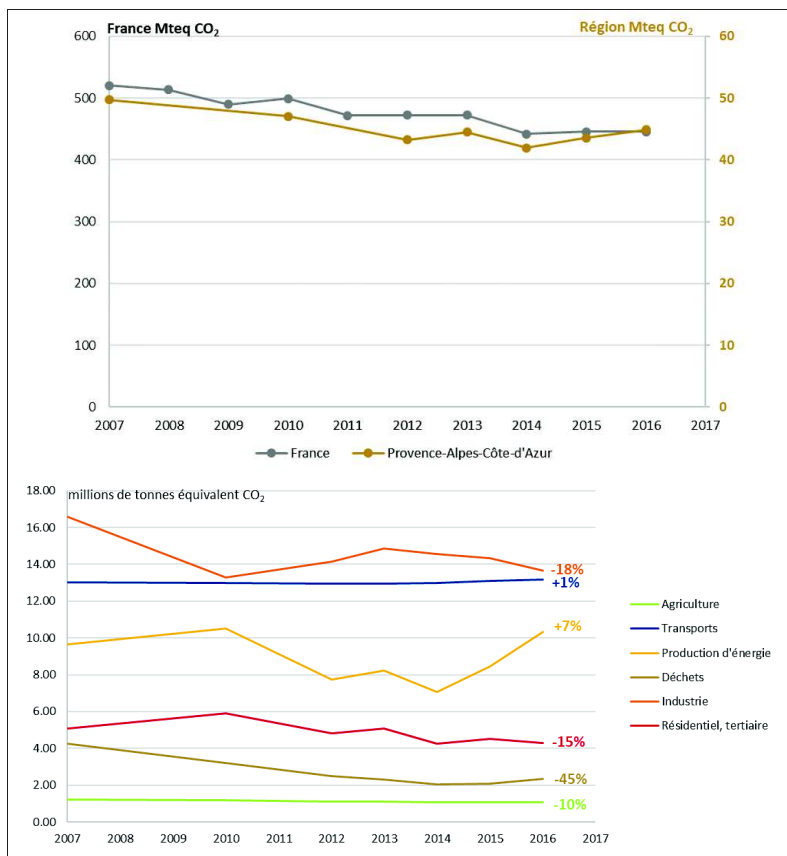


Figure 144 : Evolution des émissions totales de GES en France et PACA et évolution des émissions de GES par secteur en PACA entre 2007 et 2016

Les émissions des trois principaux gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O) en Provence-Alpes-Côte d'Azur ont diminué de 11% sur la période 2007-2016.

Au niveau national, la baisse est de 14% sur la même période.

Cependant cette diminution doit être intensifiée pour s'inscrire dans la trajectoire de réduction :

- Loi TECV (Transition Énergétique pour la Croissance Verte) : -40 % à horizon 2030 par rapport à 1990
- SNBC (Stratégie Nationale Bas Carbone) : -75 % à horizon 2050 par rapport à 1990 (facteur 4)

La majeure partie de cette diminution est due aux effets conjugués des améliorations technologiques industrielles et aux impacts de la crise économique de 2008 sur l'activité économique. Depuis 2012, ces émissions montrent une stabilisation, en liaison avec la reprise de l'activité en région. Cette tendance est comparable à celle observée sur le territoire national.

En 2016, la hausse des émissions de GES au niveau régional s'explique en très grande partie par la hausse de la consommation d'énergie primaire des centrales thermiques à gaz (+120 % par rapport à 2015).

Abstraction faite de la variabilité interannuelle des émissions de GES du secteur de la production d'énergie, la plupart des secteurs montre une baisse des émissions depuis 2007. Seul le secteur des transports montre une légère hausse des émissions, les améliorations technologiques des moteurs, moins émetteurs, ne compensent pas l'augmentation du trafic observée.

Les principaux secteurs émetteurs en région PACA sont l'industrie, les transports (marchandises et personnes), et la production d'énergie.

Il existe un groupe régional d'experts sur le climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-SUD) qui a vocation à centraliser, transcrire et partager la connaissance scientifique sur le climat et le changement climatique. Il est aujourd'hui largement reconnu que la Méditerranée est l'une des régions les plus vulnérables au changement climatique.

Selon le GIEC, les travaux compilés dans un précédent rapport indiquent qu'une hausse des températures de 2 à 3°C est à prévoir en région méditerranéenne à l'horizon 2050, et de 3 à 5°C à l'horizon 2100. Les précipitations estivales pourraient diminuer de 35 % sur la rive sud et de 25 % sur la rive nord d'ici la fin du siècle.

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur est déjà confrontée à d'importants problèmes de stress hydrique, de désertification, de pertes de biodiversité et d'événements climatiques extrêmes tels qu'inondations et sécheresses. En cohérence avec l'augmentation des températures, le nombre de journées très chaudes croît également (température maximale supérieure à 30°C).

Conformément à l'accord de Paris de 2015, pour limiter l'ampleur du réchauffement climatique à 1,5°C, le GIEC indique que les émissions de dioxyde de carbone devraient être réduites d'environ 45% par rapport aux niveaux de 2010, d'ici à 2030.

❖ **Secteur résidentiel & tertiaire**

Le mix énergétique des secteurs résidentiel et tertiaire en 2017 en PACA est représenté graphiquement ci-dessous. Les énergies fossiles représentaient près de 40 % des énergies consommées par ces secteurs.

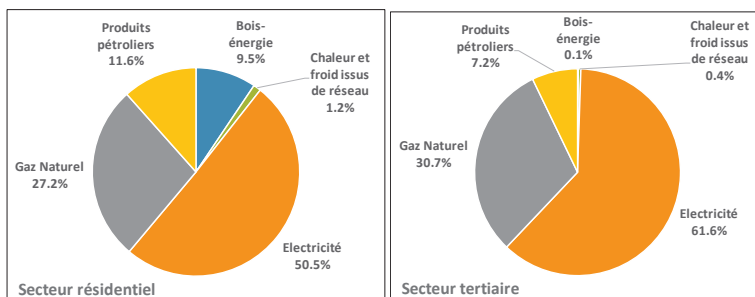
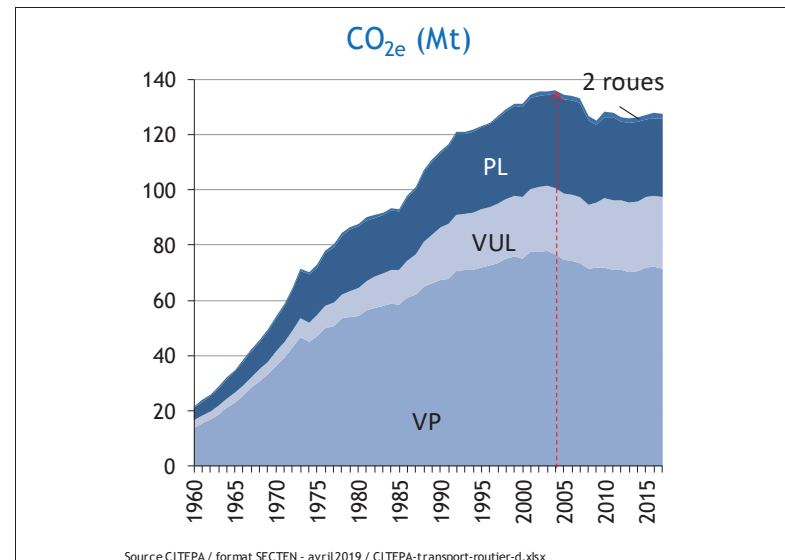


Figure 145 : Mix énergétique du secteur résidentiel (à gauche) et du secteur tertiaire (à droite) en PACA en 2017

Les émissions de gaz à effet de serre du secteur tertiaire en PACA³⁷ pour l'année 2017 s'élèvent à environ 2 212 milliers de tonnes équivalent CO₂ (kt CO₂e) et celles du secteur résidentiel à 4 383 milliers de tonnes équivalent CO₂ (kt CO₂e).

❖ **Transport**

Selon les inventaires du CITEPA³⁸, les émissions de GES en équivalent dioxyde de carbone du trafic routier sont en baisse après plusieurs années de diminution (cf. figure ci-après).



Source CITEPA / format SECTEN - avril 2019 / CITEPA-transport-routier-d.xlsx

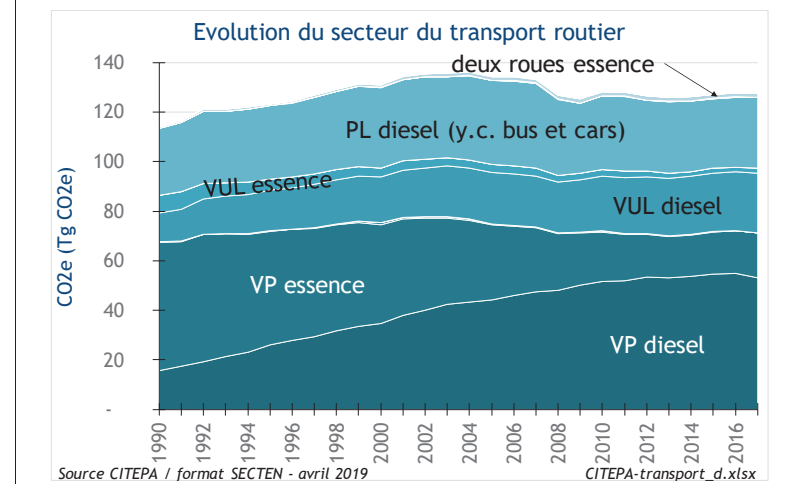


Figure 146: Evolution des émissions de de GES en équivalent CO₂ du transport routier

Cette baisse s'explique par la dé-dieselisation du parc de véhicules particuliers, conjuguée à la baisse des consommations moyennes par véhicule.

³⁷ <https://cigale.atmosud.org/extraction.php>

³⁸ Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

Le diagramme suivant présente les émissions de GES par type de transports en France. Il est possible de constater que les véhicules particuliers sont les principaux émetteurs de GES du secteur des transports.

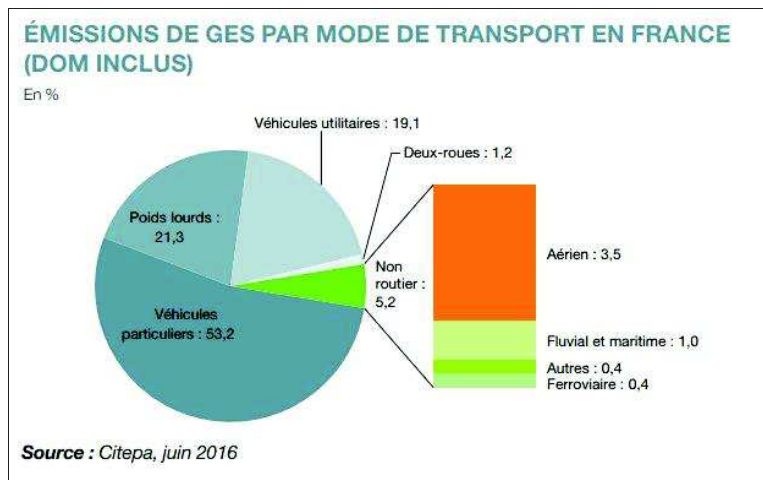


Figure 147 : Émissions de GES par type de transports en France

Selon les inventaires d'AtmoSud, le transport routier représentait 28,0 % en 2007 et 30,9 %³⁹ en 2017, des émissions de GES (exprimé en équivalent CO₂) pour la région PACA.

22.2. EMISSIONS DE GES DU RÉSEAU D'ÉTUDE (SECTEUR ROUTIER)

Ici, la quantification en GES a été effectuée ici au moyen du logiciel COPERT pour les émissions engendrées par le trafic du réseau d'étude.

Les émissions de gaz à effet de serre dépendent directement :

- Du type de véhicules (VP / VUL / PL, essence/diesel, cylindrée) ;
- De la technologie du véhicule (conventionnel, Normes EURO 1 à 6 et suivantes) ;
- Des paramètres liés à la circulation (vitesse, pente, moteur froid etc.).

Les quantités des gaz à effet de serre émis par le trafic routier sur le réseau d'étude considéré sont reportées dans le tableau suivant.

Tableau 79: Quantité de GES produits par le trafic routier du réseau d'étude considéré

[kilo équivalent 100 ans CO ₂ /jour]	Horizon actuel	2023 Sans projet	2023 Avec projet	2043 Sans projet	2043 Avec projet
CO ₂ [PRG = 1]	28457,9	33050,2	34224,0	44803,4	45847,3
N ₂ O [PRG = 265]	408,9	443,9	446,4	514,0	512,3
CH ₄ [PRG = 30]	7,2	6,1	6,1	8,0	7,9
TOTAL	28874,0	33500,2	34676,5	45325,3	46367,6

PRG : pouvoir de réchauffement global – les PRG considérés sont ceux fournis par l'ADEME via le 5^e rapport du GIEC de 2013⁴⁰

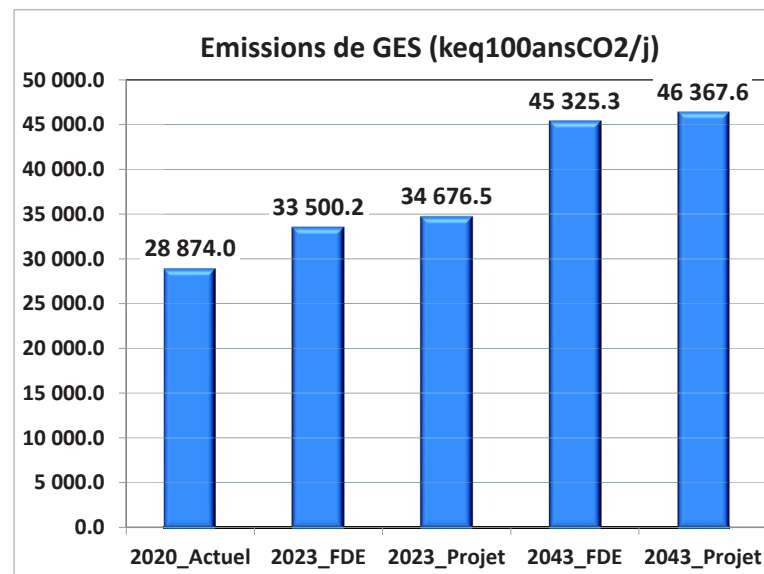


Figure 148: Émissions des gaz à effet de serre (kg équivalent 100 ans CO₂/jour) sur le réseau d'étude

Les quantités de Gaz à Effet de Serre sont dépendantes de la consommation de carburant.

³⁹ <https://cigale.atmosud.org/>

⁴⁰ http://www.bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?prg.htm

Elles augmentent pour les situations futures au 'Fil de l'Eau' et 'projet' par rapport à la situation 'actuelle'. Elles augmentent avec la mise en place du projet par rapport à la situation au 'Fil de l'Eau'.

Bien que le méthane et le protoxyde d'azote possèdent un PRG beaucoup plus important que celui du dioxyde de carbone, ces deux composés ne représentent qu'une petite partie des émissions (Cf figure suivante).

Le dioxyde de carbone provient de la combustion de combustibles fossiles. La réduction des émissions des gaz à effet de serre provenant du trafic routier passe par la décarbonisation du parc roulant *via* le développement des véhicules électriques et/ou hybrides ou le changement de mobilité vers des modes actifs / doux.

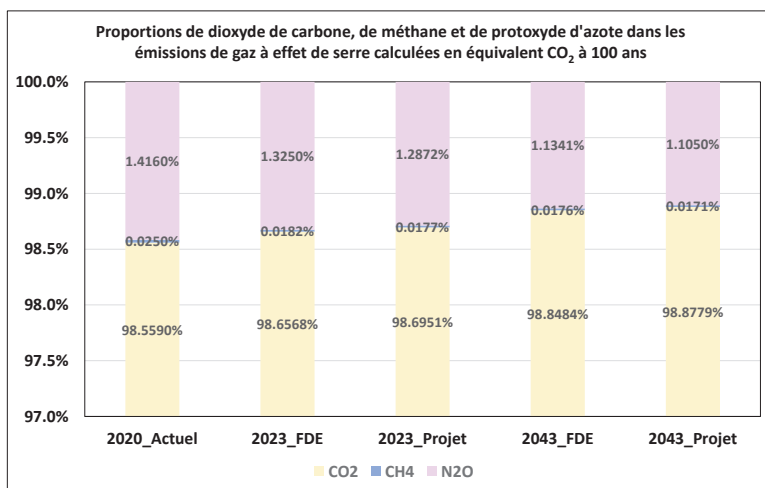


Figure 149: Proportions de dioxyde de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote dans les émissions de GES calculées sur le réseau d'étude

Le trafic routier du réseau d'étude augmente pour les horizons futurs au 'Fil de l'eau' par rapport à la situation 'actuelle'. La mise en place du projet induit une augmentation des flux de trafic sur le réseau d'étude par rapport à la situation au Fil de l'eau. En corollaire, les émissions globales de Gaz à Effet de Serre liées au trafic routier (ainsi que la consommation de carburant) suivent la même courbure schématique. La réalisation du projet engendre une évolution des émissions de GES par rapport au scénario sans projet de +3,5 % en 2023 et de +2,3 % en 2043.

23. COÛTS COLLECTIFS DES GAZ A EFFET DE SERRE ET DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

23.1. COÛTS LIÉS AUX ÉMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES

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

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

Dans une fiche-outils du 03/05/2019 (« Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique »), le Ministère de l'Environnement recommande des valeurs tutélaires de la pollution atmosphérique. Ces valeurs ne couvrent pas tous les effets externes, mais elles concernent néanmoins la pollution locale de l'air sur la base de ses effets sanitaires. Ainsi, le rapport fournit, pour chaque type de trafic (poids lourds, véhicules particuliers, véhicules utilitaires légers) et pour quelques grands types d'occupation humaine (urbain dense, urbain diffus, interurbain, etc.), une valeur de l'impact - principalement sanitaire - de la pollution atmosphérique.

Tableau 80 : Classes de densité

Densité de population de la zone d'étude	URBAIN	URBAIN	URBAIN	URBAIN	Inter
	Très dense	Dense	URBAIN	Diffus	URBAIN
Fourchette [hab/km²]	> 4500	1500 -4500	450 -1500	37 - 450	< 37
Densité moyenne [hab/km²]	6750	2250	750	250	25

Compte tenu de la population présente sur la grille de calcul (figure suivante), la densité de population considérée est de 366 hab/km² en 2015, ce qui correspond à un milieu urbain « diffus ».

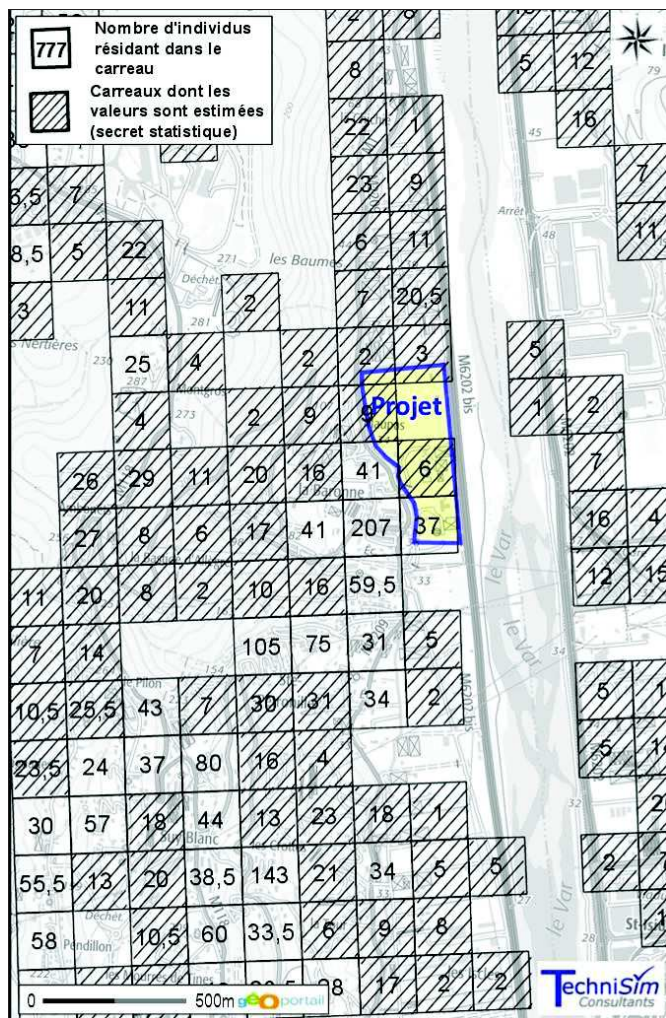


Figure 150 : Population présente sur la grille de calcul (2 000 m x 1 500 m) (Données carroyées INSEE)

Les valeurs à considérer pour l'évaluation des coûts de la pollution atmosphérique sont indiquées dans le tableau ci-après.

Tableau 81 : Coûts unitaire de la pollution atmosphérique générée par le transport routier (en €₂₀₁₅ / 100 véhicules x km)

Types de véhicule	Valeurs tutéaires pour le transport routier (en € ₂₀₁₅ / 100 véhicules x km)				
	Densité de population des zones traversées par l'infrastructure	URBAIN Très dense	URBAIN Dense	URBAIN	URBAIN Diffus
Véhicule Particulier	11,6	3,2	1,3	1,1	0,8
VP diesel	14,2	3,9	1,6	1,3	1
VP essence	4,4	1,3	0,6	0,4	0,3
VP GPL	3,7	1	0,4	0,3	0,1
Véhicule Utilitaire Léger	19,8	5,6	2,4	2	1,7
VU diesel	20,2	5,7	2,5	2	1,8
VU essence	6,3	1,8	0,7	0,5	0,3
PL Diesel	133	26,2	12,4	6,6	4,4
Deux-roues	6,7	1,9	0,8	0,6	0,5
Bus	83,7	16,9	8,3	4,5	3,1

La fiche-outils précise qu'il est nécessaire d'actualiser ces valeurs suivant l'évolution du parc automobile et du PIB par rapport à la population.

Sur la région PACA, l'évolution du PIB par habitant à retenir est de 1,2 % par an.

Au cours de la dernière décennie (2009-2019), l'inflation a été en moyenne de 1,115 % par an d'après l'INSEE. Cette valeur sera utilisée pour extrapoler les coûts aux horizons futurs.

L'application des valeurs recommandées et de leur règle d'évolution pour l'ensemble du trafic considéré conduit aux évaluations présentées dans le tableau et la figure ci-après (valeurs journalières et annuelles).

Tableau 82 : Estimation des coûts de la pollution atmosphérique générée par le transport routier du réseau d'étude

Type de véhicules	2020 Actuel (en € ₂₀₂₀)	2023 Sans Projet (en € ₂₀₂₃)	2023 Projet (en € ₂₀₂₃)	2043 Sans Projet (en € ₂₀₄₃)	2043 Projet (en € ₂₀₄₃)
Sur une journée					
VL	1 506 €	1 673 €	1 682 €	2 526 €	2 517 €
PL	613 €	650 €	747 €	749 €	837 €
Total	2 119 €	2 323 €	2 429 €	3 274 €	3 355 €
Sur l'ensemble de l'année					
VL	551 k€	611 k€	614 k€	922 k€	919 k€
PL	224 k€	237 k€	273 k€	273 k€	306 k€
Total	775 k€	848 k€	887 k€	1 195 k€	1 224 k€

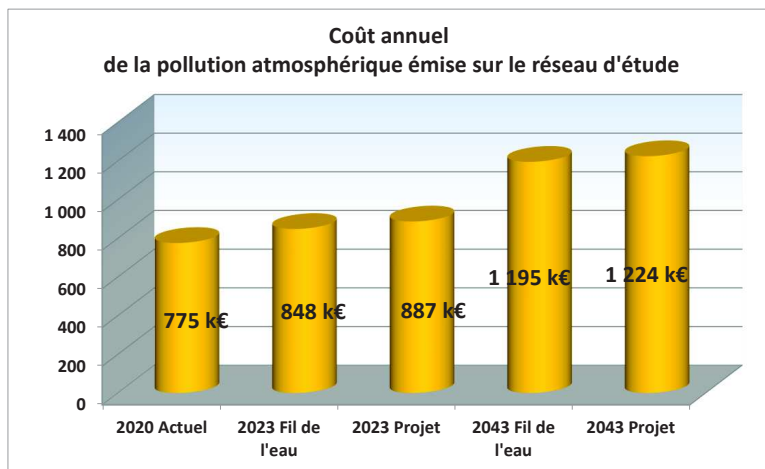


Figure 151 : Coût annuel de la pollution atmosphérique du réseau d'étude

La mise en place du projet engendre un surcoût de la pollution atmosphérique sur le réseau d'étude, par rapport au scénario Fil de l'eau, de 4,6 % en 2023 et de 2,4 % en 2043, à mettre en relation avec l'augmentation des Véhicules-Kilomètres (VK).

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

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

23.2. COÛTS LIÉS AUX ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Le coût social du carbone peut être considéré comme étant la valeur du préjudice qui découle de l'émission d'une tonne de CO₂.

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

Selon le document de France Stratégie intitulé « La valeur de l'action pour le climat » de février 2019, les valeurs à considérer pour une tonne d'équivalent CO₂ émise sont de 54 €₂₀₁₈ en 2018, de 250 €₂₀₁₈ en 2030 et de 500 €₂₀₁₈ en 2040.

Nota : Le calcul des émissions de gaz à effet de serre (GES) a été réalisé à l'aide du logiciel COPERT V.

Le tableau suivant présente l'estimation des coûts des rejets de gaz à effet de serre sur le réseau d'étude pour tous les scénarios considérés.

Tableau 83 : Estimation des coûts des GES générés par le transport routier du réseau d'étude

	2020 Actuel (en € ₂₀₂₀)	2023 Sans Projet (en € ₂₀₂₃)	2023 Projet (en € ₂₀₂₃)	2043 Sans Projet (en € ₂₀₄₃)	2043 Projet (en € ₂₀₄₃)
Sur une journée	2 559 €	4 804 €	4 973 €	34 104 €	34 888 €
Sur une année	936 k€	1 753 k€	1 815 k€	12 448 k€	12 734 k€

Ces résultats sont illustrés ci-dessous, en valeur annuelle.

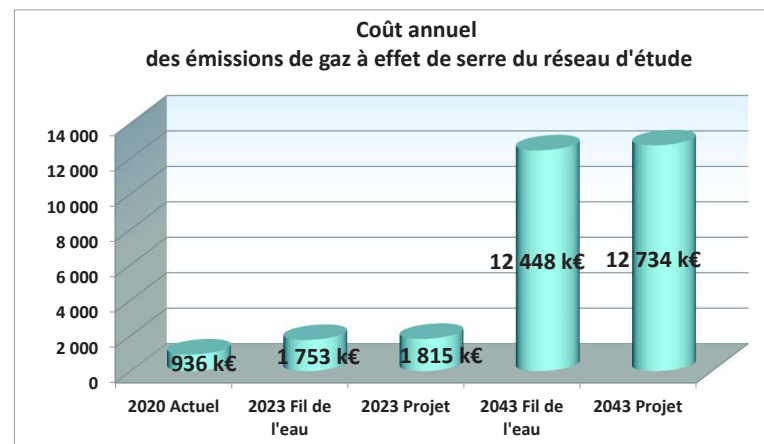


Figure 152 : Coût annuel des émissions de GES du réseau d'étude

Le coût des émissions de Gaz à Effet de Serre augmente aux horizons futurs en raison de la valeur tutélaire du carbone qui croît de façon marquée.

La mise en place de l'aménagement engendre un surcoût lié aux émissions de GES par rapport au scénario Fil de l'eau de +3,5 % en 2023 et de +2,3 % en 2043, en lien avec l'augmentation de la consommation de carburant (augmentation des trafics).

24. MESURES D'ÉVITEMENT, DE RÉDUCTION ET DE COMPENSATION DES IMPACTS

Vis-à-vis du secteur tertiaire, la construction de bâtiments économes en énergie permet de minimiser les émissions par une moindre consommation. De plus, les modes de chauffage et de production d'eau chaude fonctionnant sans combustion permettent de réduire considérablement les émissions atmosphériques locales.

La pollution atmosphérique dans le domaine des transports est une nuisance pour laquelle il n'existe pas de mesures compensatoires quantifiables. Cependant, les améliorations des motorisations et des systèmes épuratifs, la généralisation de la norme Euro 6 (voire 7 dans quelques années) associée au renouvellement du parc roulant vont permettre une diminution des émissions, et donc une amélioration de la qualité de l'air.

Concernant les horizons à long terme (postérieurs à 2030), il est vraisemblable d'envisager que les émissions de polluants atmosphériques liées au transport routier puissent baisser de manière encore plus importante en fonction de plusieurs leviers tels que :

- L'évolution de la législation sur les transports : par exemple la Loi Mobilités, qui prévoit l'interdiction des ventes de véhicules énergies fossiles carbonée à horizon 2040 (sachant qu'en 2018 ces derniers représentent encore 93 % des ventes⁴¹ de véhicules neufs) ou encore le développement des zones environnementales type ZFE (Zones à Faibles Emissions) imposant des restrictions de circulation pour certains véhicules ;
- L'innovation sur de nouveaux modes de transport : de nombreux projets ou déploiements de technologies déjà existantes voient le jour, que ce soit pour le transport individuel ou collectif, afin de renouveler et révolutionner les mobilités dans le futur. Il est possible de citer :
 - Le déploiement des véhicules électriques à batteries ou à pile à combustibles (hydrogène) et les projets de logistique du dernier kilomètre avec le projet ESPRIT (quadricycles électriques en auto-partage emboîtables et attelables pour former des trains routiers) ;
 - Les trains à sustentation magnétique tels que le Transrapid de Shanghai, le Linimo au Japon déjà en circulation ;
 - Les capsules taxi autonomes à sustentation magnétique telles que le projet SkyTran ;
 - Des capsules suspendues sur rails à propulsion humaine (par pédales) telles que le projet Shweeb ;

- Les « vactrain » tel que Hyperloop ou Transpod fonctionnant sur coussin d'air dans des tubes sous pression réduite : de nombreux projets ont été imaginés en France. Des projets similaires existent également pour le transport de marchandises en souterrain ;
- Les téléphériques urbains à vocation de transport en commun et non juste de desserte de sites touristiques, tels que Métrocable à Medellín, le téléphérique de Brest (800 000 personnes par an) déjà en fonctionnement. Des projets sont à l'étude en France notamment en région parisienne. A Toulouse, le chantier a commencé, la mise en service est prévue pour fin 2020. Ce métrocable comportera 3 stations et desservira en 10 min un trajet nécessitant 40min de voiture. Le projet de l'agglomération de Grenoble a été validé le 20 février 2020 et verra le jour en 2023. Ce téléphérique urbain reliera les communes de Fontaine et de Saint-martin-le-Vinoux en survolant la rivière du Drac et l'autoroute A80.
- Le développement des transports individuels en free-floating (vélos, trottinettes) ;
- Concernant le transport maritime, des projets de bateaux au GPL et force des vents (coque ou voile gigantesque) ou encore solaires voient le jour tels que Vindskip, Efuture 13000C, Skysails ;
- Le transport aérien voit des projets d'avions modulables avec Clip-Air ou d'avion solaire (Solar Impulse), des projets reprenant le principe du dirigeable tels que SolarShip, Aeros ;
- Les projets d'hoverboard (skate en lévitation) utilisant le principe de supraconductivité tels que Magsurf ou Slide.
- L'évolution des pratiques personnelles de transport :
 - Déploiement des véhicules gyroscopiques roulant électriques monoplace (gyropode, gyroroue, gyroskate) ;
 - L'augmentation de la part modale du vélo (électrique ou non) en zone urbaine, la part modale augmentant de l'ordre de 10% à 35 % par an dans les grandes villes françaises (source : ADEME) ;
 - L'utilisation importance du free-floating.

Au vu de l'ensemble de ces projets, déjà en service ou en développement, visant globalement la réduction du transport routier individuel, il est plausible d'envisager que dans le futur long terme, la mobilité telle que nous la connaissons aujourd'hui soit révolutionnée et que les émissions polluantes liées à la combustion des véhicules thermiques diminuent fortement et plus rapidement que dans les perspectives actuelles.

D'ores et déjà, plusieurs types de mesures peuvent être mises en place afin de minimiser l'exposition des populations à la pollution atmosphérique.

⁴¹ <http://carlabelling.ademe.fr/chiffrescler/r/venteParTypeEnergie>

24.1. MESURES D'ÉVITEMENT

Concernant la qualité de l'air, l'évitement est le premier levier dont disposent les élus et les décideurs.

Cela consiste à ne pas exposer de nouvelles personnes dans les zones où la qualité de l'air est déjà dégradée ou à proximité immédiate d'une source d'émission, ou de ne pas construire de nouveaux équipements, sources d'émission de polluants, à proximité immédiate de zones habitées ou sensibles.

24.2. MESURES DE RÉDUCTION

Lorsque les mesures d'évitement ne peuvent être mises en place, il est alors nécessaire de faire appel à des mesures de réduction afin de limiter au maximum les situations à risque pour les populations.

• Eloignement

L'éloignement consiste à éloigner les populations des sources d'émissions et particulièrement les populations sensibles pour réduire autant que possible leur exposition aux polluants atmosphériques.

Les sources routières doivent faire l'objet d'une attention particulière, car elles représentent une part importante des émissions de polluants (en moyenne en France, plus de 55 % pour le dioxyde d'azote et entre 15 et 20 % pour les PM10 et PM2,5).

Les mesures d'éloignement face aux sources routières peuvent être mises en œuvre en imposant, par exemple, un retrait des constructions par rapport à la voie. Un foncier suffisant est alors nécessaire, mais le gain attendu en termes d'exposition des personnes peut rapidement être important.

• Adaptation de la morphologie urbaine

Lorsque les mesures d'éloignement ne peuvent être mises en place de manière satisfaisante (espace urbain trop contraint, peu de disponibilité foncière, etc.), il est possible d'agir sur la morphologie urbaine, l'objectif étant de modifier les conditions d'écoulement des masses d'air pour, soit :

- Favoriser la dispersion des polluants et éviter l'accumulation de polluants, responsable de l'augmentation des concentrations ;
- Limiter la dispersion (utilisation d'obstacles), afin que les zones à enjeux ou sensibles soient protégées des sources d'émission.

• Mesures constructives sur les bâtiments et gestion du bâtiment au quotidien

Le recours aux mesures constructives peut être systématique, mais doit plutôt s'envisager comme intervenant en complément des autres mesures, ou lorsque celles-ci ne sont pas suffisantes pour réduire l'exposition à la pollution des populations ou encore impossibles à mettre en place.

Elles visent essentiellement à limiter les transferts de polluants de l'extérieur vers l'intérieur.

Pour limiter la pénétration de la pollution provenant de l'extérieur, plusieurs recommandations peuvent être faites, visant :

- le positionnement et l'implantation des ouvrants : dans la mesure du possible, il faut privilégier le positionnement des pièces de vie, comportant des ouvertures généralement plus larges, sur cour, et les pièces de service (buanderie, salle de bain) sur la façade côté voirie. Dans la pratique, ces recommandations sont complexes à mettre en œuvre, car elles peuvent aller à l'encontre de la RT2012 qui impose de concevoir des bâtiments bioclimatiques, privilégiant les apports solaires.
- le positionnement des bouches de prises d'air neuf : les règles de l'art applicables aux installations de ventilation mécanique contrôlée du secteur résidentiel sont exposées dans le document technique unifié NF-DTU 68.3 qui fournit l'ensemble des règles de conception et de dimensionnement du système, ainsi que les prescriptions de mise en œuvre et d'exécution de l'installation. De manière générale, le positionnement des bouches de prise d'air neuf sur le côté le moins exposé du bâtiment sera préféré, loin des bouches d'air vicié, de parkings ou de garages ou d'une cheminée.
- la ventilation : mise en place d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée) double-flux comprenant une filtration de l'air entrant. Deux types de filtres sont généralement installés : un filtre gravimétrique, retenant les pollens et un filtre retenant les poussières fines (taux d'abattement allant jusqu'à 30 % selon les filtres). Ces filtres doivent être changés très régulièrement pour maintenir l'efficacité du système, 1 fois par an pour les pollens (après la saison pollinique) et 1 à 2 fois par an pour les particules fines. Cependant, en fonction de la performance des filtres et de la localisation géographique (à proximité immédiate de routes très circulées), ces derniers peuvent vite s'encrasser et doivent être changés à une fréquence plus élevée (tous les 2 à 3 mois). Au-delà du changement de filtre, une VMC double-flux demande un entretien régulier pour éviter qu'elle ne s'encrasse et qu'elle ne perde en efficacité (nettoyage des bouches d'extraction, dépoussiérage des bouches de soufflage tous les trois mois, et entretien complet tous les trois ans par un professionnel). Les systèmes VMC double-flux sont intrinsèquement très efficaces. Cependant la qualité des installations est encore trop souvent négligée et le changement des filtres peut s'avérer délicat, voire impossible. La mise en œuvre de ces systèmes doit donc être anticipée dès la conception des bâtiments, pour permettre leur entretien.

La toiture des bâtiments Distributeurs&Grossistes / Producteurs sera partiellement composée de panneaux photovoltaïques dont 1 400 m² seront dédiés pour un fonctionnement en autoconsommation sur le site pour la centrale frigorifique.

Pour la phase chantier, les véhicules et les engins présents sur le site répondront aux normes d'émission en vigueur. Les fiches de contrôles d'entretien seront transmises par l'entreprise au maître d'ouvrage préalablement à l'arrivée des véhicules et engins.

24.3. AMÉNAGEMENTS DU TERRITOIRE

Les aménagements du territoire agissent non pas sur les émissions mais sur l'exposition des populations. Les activités polluantes mais également les aménagements générant un trafic important (centres commerciaux, pôles tertiaires, centres de loisirs...) seront installés de préférence loin des populations et des équipements accueillant un public vulnérable.

À l'échelle de l'aménagement, plusieurs paramètres ont une influence sur l'exposition des populations et sur la dispersion des polluants :

- La présence d'obstacles verticaux obstrue les flux d'air, mais peut aussi être mise à profit via des bâtiments « masques », par exemple, pour protéger des espaces vulnérables et/ou sensibles de voies au trafic soutenu.
- La présence d'obstacles horizontaux influence fortement la vitesse du vent en fonction des inégalités de hauteur de la canopée urbaine.
- Les configurations « en canyon » bloquent le flux d'air et limitent la ventilation ;
- La complexité des rues et leur obstruction (rapport entre l'écartement des immeubles et leur hauteur) sont des facteurs aggravants.

Les espaces ouverts (nature en ville, parcs, jardins, voire espaces agricoles et naturels) constituent des espaces permettant la circulation de l'air et la dispersion des polluants contrairement à des bâtiments accolés les uns aux autres.

Ils peuvent aussi représenter un potentiel de fixation des polluants atmosphériques. L'impact sur la fixation ou la dispersion des polluants diffère selon les types de végétalisation et selon les espèces végétales et sont à considérer dans le choix des espèces :

- Les toitures végétales captent les particules fines.
- Les parcs et forêts urbains contribuent à la réduction des particules en suspension et autres polluants (dioxyde de soufre, dioxyde d'azote...); selon les travaux conduits au sein du Laboratoire Image-Ville-Environnement de l'Université de Strasbourg, la végétation permet une réduction des niveaux de concentrations de l'ordre de 0,4% pour le NO₂ et de 1% pour les PM10.
- La végétation en bordure de route capte une partie des émissions liées à la circulation routière.
- Les alignements d'arbres ont une capacité de captation mais limitent la ventilation des rues et la dispersion des polluants (notamment dans les rues « canyons » et/ou si le ratio entre le volume des arbres et le volume total de la rue est trop élevé).

- En revanche, certaines espèces sont émettrices de polluants (composés organiques volatils) ou allergisantes, cela est à prendre en considération dans le choix des espèces.

Une toiture partiellement végétalisée sera mise en place sur les bâtiments Distributeurs et Grossistes / Producteurs.

Une partie du terrain sera végétalisée. Un mur végétalisé sera également réalisé sur le PIA.

24.4. LUTTE CONTRE LES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS

Avec le réchauffement climatique, les vagues de chaleur devraient s'intensifier significativement en Europe dans les décennies à venir.

Pour contrecarrer le phénomène des îlots de chaleur urbains, plusieurs solutions sont envisagées : de l'aménagement des espaces verts à l'arrosage des chaussées, en passant par la mise en œuvre de revêtements adaptés.

En effet, augmenter la couverture végétale au sol permet de rafraîchir plus efficacement les rues. Cet effet de rafraîchissement est d'autant plus efficace si la surface végétalisée est importante et si la proportion d'arbres est élevée. Selon les stratégies, on peut obtenir une baisse de 0,5°C à 2°C, et la combinaison de végétation maximale permet d'atteindre jusqu'à -3°C localement⁴².

Des solutions comme les enrobés rafraîchissants sont en cours d'étude

L'emprise au sol du périmètre projet est de 123 875 m² dont 38 326 m² seront des surfaces non imperméabilisées.

Une toiture partiellement végétalisée sera installée sur les bâtiments Distributeurs & Grossistes / Producteurs.

⁴² Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville, C. De Munck, 2013.

Conclusion de l'Analyse des Impacts

25. CONCLUSION DE L'ANALYSE DES IMPACTS

Cette étude Air et Santé concerne l'aménagement du Nouveau « Marché d'Intérêt National (MIN) d'Azur + PIA », sur le territoire de la commune de La Gaude [Alpes-Maritimes/06].

Elle s'inscrit dans le cadre de la réponse aux remarques formulées dans l'avis de la MRAE n° 2019-2463 du 20/12/2019 concernant l'étude d'impact du projet susmentionné.

Outre la réalisation du volet Air & Santé, il s'agit de répondre à la remarque suivante de la MRAE :

Recommandation 8 : Produire une modélisation de la qualité de l'air et une évaluation quantitative des risques sanitaires en identifiant la part attribuable, du trafic induit par le MIN et le PIA, aux concentrations en polluants atmosphériques, en évaluant les conséquences globales de l'ensemble du trafic après réalisation du projet et en appréciant le résultat à l'aune de la condamnation de la France par la cour de justice européenne pour non-respect des valeurs limites d'oxydes d'azote.

Le projet d'aménagement va générer des émissions atmosphériques lors des phases :

- Chantier
- et
- Exploitation

Des mesures à la fois techniques et organisationnelles sont disponibles en vue de réduire au maximum les nuisances liées au chantier.

Le projet va induire un trafic supplémentaire - mais certes limité au vu des trafics déjà présents - ainsi qu'un aménagement de la voirie à l'horizon 2023 (giratoire sur la M6202bis et voie d'accès) afin de desservir le site dans l'attente de l'échangeur qui assurera la desserte à terme. Les améliorations des motorisations et des systèmes épuratifs, ainsi que l'application des normes Euro, associée au renouvellement du parc roulant vont à fortiori compenser cette augmentation du trafic.

Il s'avère que les modélisations ont montré que l'impact de ce trafic supplémentaire lié au projet est faible et pas de nature à dégrader la qualité de l'air et la santé des populations environnantes en comparaison avec les situations au Fil de l'eau.

En sus, aux horizons futurs, les modélisations indiquent une amélioration de la qualité par rapport à la situation actuelle.

Concernant la mise en regard des résultats de la modélisation au vu de la condamnation de la France par la Cour de Justice européenne (non-respect des valeurs limites d'oxydes d'azote) la réalisation du projet induit une évolution de +1,7 % en 2023 et de +0,8 % en 2043 de la concentration annuelle en NO₂ maximale de la zone d'étude par rapport au

scénario Fil de l'eau correspondant. Cette augmentation est très faible. De plus, la condamnation concerne une zone bien plus étendue que celle spécifique au projet, et le raisonnement doit se tenir sur une globalité d'incidence et non sur un projet particulier.

Le projet du Nouveau MIN d'Azur + PIA, consistant par ailleurs en une relocalisation d'une activité déjà existante sur un secteur ou la pression de la pollution atmosphérique est moindre est un avantage sur un raisonnement global. En effet, en l'état actuel, le MIN est localisé entre l'échangeur de l'A8 et le boulevard René Cassin/Promenade des Anglais, les émissions de polluants atmosphériques sur ce secteur sont plus élevées que sur le territoire de La Gaude du fait du trafic de l'A8 et de la Promenade des Anglais. La relocalisation permet donc de dévier une partie du flux de trafic et de faire diminuer les émissions de polluants sur une zone pour laquelle la pression environnementale est forte. Par effet de dilution, la relocalisation du MIN devrait contribuer à la baisse globale des teneurs en NO₂ sur la zone de Nice concernée par la condamnation de la cour européenne.

Par ailleurs, compte-tenu des perspectives d'évolution du parc roulant en lien avec les nouvelles mobilités émergentes et la loi mobilités du 24 décembre 2019, les émissions aux horizons long terme vont vraisemblablement diminuer drastiquement avec la mesure de fin des ventes de véhicules neufs à énergies fossiles carbonées en 2040.

De même, les émissions polluantes liées aux bâtis seront restreintes (utilisation d'énergies renouvelables – géothermie et photovoltaïque) et leurs impacts seront minimes comparés aux autres sources d'émissions déjà présentes, en particulier la circulation automobile.

Enfin, l'évaluation quantitative des risques sanitaires n'a pas mis en évidence de risques sanitaires significatifs pour les teneurs et les durées d'exposition considérées pour tous les horizons, que ce soit avec ou sans projet au droit des lieux vulnérables, à la fois pour les habitants de la zone d'étude et les futurs travailleurs du Nouveau MIN + PIA.

En définitive, l'aménagement projeté et les hausses de trafic liées ne sont pas de nature à entraîner un impact significatif sur la qualité de l'air du secteur étudié, ni une évolution significative des risques sanitaires pour la population.

Le tableau immédiatement ci-après synthétise les impacts du projet comparativement à la situation Fil de l'Eau.

THEMES	Avantages / Inconvénients
PHASE TRAVAUX	La quantification des émissions appelant un nombre important de données, il n'est pas possible, au stade actuel, de chiffrer les émissions atmosphériques totales du chantier. En tout état de cause, compte-tenu de la définition du projet, les quantités de poussières émises sont estimées à 171 tonnes pour la phase de construction du Nouveau MIN et du PIA.
VEHICULES-KILOMETRES	Au regard des hypothèses considérées, l'impact du projet sur l'indice VK 'Tous Véhicules' est de +1,5 % en 2023 et de +0,5 % en 2043 par rapport à la situation FDE (= Fil De l'Eau) correspondante.
CONSOMMATION DE CARBURANT	En lien avec la hausse des VK, la consommation énergétique augmente de 3,6 % en 2023 et de 2,3 % en 2043 avec la mise en place du projet par rapport à la situation au FDE.
ÉMISSIONS POLLUANTES	En raison de l'amélioration et du renouvellement du parc automobile, les émissions de polluants atmosphériques augmentent peu par rapport à la situation actuelle, et ce, malgré l'augmentation des trafics en situation FDE et projet. Par rapport à la situation FDE correspondante, les émissions de polluants atmosphériques varient de +2,6 % en 2023 et +0,7 % en 2043 en situation projet.
COMPTE TENU ÉMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	En raison de l'augmentation des VK et des consommations de carburant, les émissions de GES augmentent par rapport à la situation actuelle. Par rapport à la situation FDE, la mise en place du projet occasionne une hausse des émissions de gaz à effet de serre de +3,5 % en 2023 et de +2,3 % en 2043.
CONCENTRATION DANS L'AIR AMBIANT	D'après les hypothèses considérées, les concentrations maximales annuelles en polluants atmosphériques sur la zone d'étude (moyenne sur les polluants de la Note technique du 22 février 2019) augmentent de 2,5 % en situation projet par rapport au FDE en 2023 et de 3,4 % en 2043.
INDICE POLLUTION-POPULATION [IPP]	Par rapport aux situations FDE correspondantes, la réalisation du projet entraîne une évolution de l'IPP cumulé sur la zone d'étude de +0,8 % en 2023 et de -1,7 % en 2043.
EQRS	L'indice des risques non cancérigènes par inhalation est jugé non significatif pour l'ensemble des scénarios d'exposition étudiés. La réalisation du projet entraîne une évolution non significative des risques sanitaires sans seuils par inhalation, comparativement au scénario sans projet pour l'ensemble des zones à enjeux en termes de population.
COUT DES EFFETS DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE	Par rapport au scénario FDE, la mise en place du projet entraîne des coûts sanitaires plus importants (+4,6 % en 2023 et +2,4 % en 2043), en raison de l'augmentation des VK.
COUT DES GAZ A EFFET DE SERRE	Le coût des émissions de gaz à effet de serre augmente aux horizons futurs en raison de la valeur tutélaire du carbone qui croît de façon marquée. Par rapport au scénario FDE, la mise en place du projet entraîne des coûts sanitaires plus importants (+3,5 % en 2023 et +2,3 % en 2043), en raison de l'augmentation des consommations de carburant.

MESURE(S) COMPENSATOIRE(S)	Il est intéressant de retenir, premièrement, que le projet consiste en la relocalisation d'une activité d'ores et déjà existante - avec la création ipso facto de bâtiments récents plus performants alimentés en énergies renouvelables - et secondement, qu'une partie des trafics sera déviée vers une zone où la pression environnementale est moins forte. Compte tenu de ces éléments, il n'est pas proposé de mesures compensatoires supplémentaires.
-------------------------------	---

Annexes

ANNEXE N°1 : GLOSSAIRE

AASQA	Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air	HPS	Heure de pointe du soir
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie	IFSTTAR	Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
AEE	Agence Européenne de l'Environnement	INRETS	Institut de recherche sur les transports
As	Arsenic	INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
Ba	Baryum	InVS	Institut de Veille Sanitaire
B(a)P	Benzo(a)Pyrène	IPP	Indice Pollution Population
BPCO	Broncho-pneumopathie chronique obstructive	Ni	Nickel
BTEX	Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes	NO₂	Dioxyde d'azote
Cd	Cadmium	NO_x	Oxydes d'azote
Centile	Les centiles correspondent à des valeurs qui divisent un ensemble d'observations en 100 parties égales. C'est-à-dire, par exemple, le centile 90 correspond à la valeur pour laquelle 90 % des données ont une valeur inférieure et 10 % des données ont une valeur supérieure.	N₂O	Protoxyde d'azote
CERTU	Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques	O₃	Ozone
CH₂O	Formaldéhyde	OMS	Organisation Mondiale de la Santé
CH₄	Méthane	Pb	Plomb
C₂H₄O	Acétaldéhyde	PDU	Plan de Déplacement Urbain
C₃H₄O	Acroléine	PL	Poids Lourd
C₄H₆	1,3-Butadiène	PM	Particulate Matter (particules fines en suspension)
C₆H₆	Benzène	PM10	Particules de taille inférieure à 10 µm
CITEPA	Centre Interprofessionnel technique d'Étude de la Pollution Atmosphérique	PM2,5	Particules de taille inférieure à 2,5 µm
CO	Monoxyde de carbone	PNSE	Plan National Santé Environnement
CO₂	Dioxyde de carbone	PPA	Plan de Protection de l'Atmosphère
COPERT	COmputer PRogramme to calculate Emissions from Road Transport	PRQA	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
CORINAIR	CORe INventories AIR	PRSE	Plan Régional Santé Environnement
COV	Composé Organique Volatil	PSQA	Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air
COVNM	Composé Organique Volatil Non Méthanique	QD	Quotient de danger
Cr	Chrome	SETRA	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement	SO₂	Dioxyde de soufre
EIS	Évaluation de l'Impact Sanitaire	SRADDET	Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires
ERI	Excès de Risque Individuel	SRCAE	Schéma Régional Climat, Air, Énergie
ERU	Excès de risque Unitaire	TMJA	Trafic Moyen Journalier Annuel
EQRS	Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires	US EPA	United States Environmental Protection Agency
FET	Facteur d'équivalence Toxique	UVP	Unité de Véhicule Particulier
GES	Gaz à Effet de Serre	VK	Véhicules-Kilomètres
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	VL	Véhicule Léger
Hg	Mercurure	VTR	Valeur Toxicologique de Référence
HPM	Heure de pointe du matin		



ANNEXE N°2 : FICHES DESCRIPTIVES DES MESURES DE 2018



Point n°1			
Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]			
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose		GPS WGS 84	
Chemin Marcellin Allo (Proximité école maternelle) – 06610 La Gaude		N 43.72088 E 7.17705	
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 14h40
Distance de la voie la plus proche	0,5 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 17h11
Type de Support Hauteur	Panneau de signalisation Hauteur : 2,5 m	Durée d'exposition	362,52 h
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	146	13,7	Ecart standard pour la mesure du NO ₂ : 2,1 %
NO ₂	147	14,3	



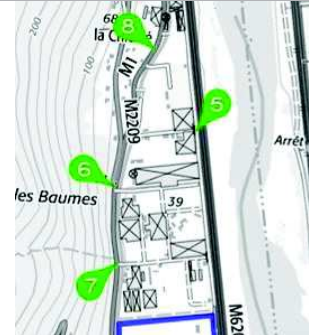

Point n°2			
Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]			
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose		GPS WGS 84	
Route de Gattières (au niveau du 260) 06610 La Gaude		N 43.72039 E 7.17918	
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 14h21
Distance de la voie la plus proche	3 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 17h05
Type de Support Hauteur	Panneau publicitaire Hauteur : 2,5 m	Durée d'exposition	362,52 h
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	148	20,3	-
NO ₂	149 (blanc)	< 0,4	-
PM10	Micro-capteur autonome et connecté	13,5 (max : 20,5 le 15/09/2018)	Moyenne globale période : 03 au 17 septembre 2018 (Maximum en moyenne journalière)
PM2,5		11,1 (max : 16,9 le 15/09/2018)	

Point n°3		Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]	
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose		GPS WGS 84	
Route de Gattières (au niveau du 458) 06610 La Gaude		N 43.72220 E 7.17915	
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 14h51
Distance de la voie la plus proche	0,5 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 17h17
Type de Support Hauteur	Lampadaire public Hauteur : 2,5 m	Durée d'exposition	362,43 h
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	150	36,1	-

Point n°4		Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]	
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose		GPS WGS 84	
Angle Route de Gattières (niveau du 115) / Chemin des Iscles 06610 La Gaude		N 43.71915 E 7.17940	
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 14h06
Distance de la voie la plus proche	0,5 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 16h58
Type de Support Hauteur	Panneau de signalisation Hauteur : 2,5 m	Durée d'exposition	362,87 h
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	151	30,6	Ecart standard pour la mesure du NO ₂ : 5,5 %
NO ₂	152	27,4	

Point n°5			
Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]			
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose			GPS WGS 84
Angle Chemin de la digue / Voie privée 06610 La Gaude			N 43.73119 E 7.18048
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 15h59
Distance de la voie la plus proche	1 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 18h10
Type de Support Hauteur	Panneau de signalisation Hauteur : 1,5 m	Durée d'exposition	362,18 h
			
			
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	158	25,8	-

Point n°6			
Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]			
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose			GPS WGS 84
Jonction Route de Gattières / Route du pont de la Manda 06610 La Gaude			N 43.73005 E 7.17739
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 15h10
Distance de la voie la plus proche	1 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 17h30
Type de Support Hauteur	Panneau de signalisation Hauteur : 2,5 m	Durée d'exposition	362,33 h
			
			
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	159	23,3	Ecart standard pour la mesure du NO ₂ : 4,5 %
NO ₂	160	25,5	

Point n°7			
Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]			
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose			GPS WGS 84
Angle 1111 Route de Gattières / Rotonde de Gattières 06610 La Gaude			N 43.72765 E 7.17749
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 15h05
Distance de la voie la plus proche	1 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 17h24
Type de Support Hauteur	Lampadaire public Hauteur : 2,5 m	Durée d'exposition	362,32 h
			
			
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	161	29,5	-

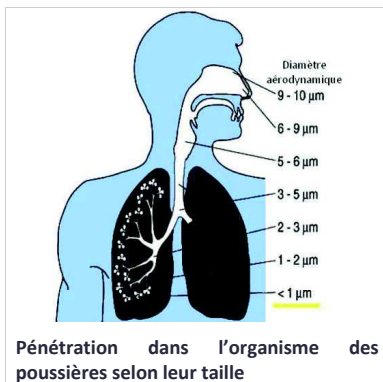
Point n°8			
Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]			
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose			GPS WGS 84
Au niveau du 504 Route du pont de la Manda 06610 La Gaude			N 43.73364 E 7.17902
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 15h27
Distance de la voie la plus proche	1 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 17h37
Type de Support Hauteur	Miroir public de sécurité Hauteur : 2,5 m	Durée d'exposition	362,17 h
			
			
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	162	25,3	-

Point n°9		Projet « Nouveau MIN + PIA » - La Gaude [06]	
Caractérisation du site			
Description du lieu de pose		GPS WGS 84	
486 Chemin Marcellin Allo 06610 La Gaude		N 43.71886 E 7.16807	
Conditions d'exposition			
Type de milieu	Périurbain	Début mesure	03 Septembre 2018 – 16h14
Distance de la voie la plus proche	1 m	Fin mesure	18 Septembre 2018 – 17h49
Type de Support Hauteur	Poteau électrique Hauteur : 2,5 m	Durée d'exposition	361,58 heures
			
			
Résultats – Concentrations moyennes			
Composés mesurés	N° du tube/matériel	Teneurs relevées (µg/m³)	Remarques
NO ₂	163	10,4	-

ANNEXE N°3 : MÉTROLOGIE DES POUSSIÈRES PM10 ET PM2,5

Les particules en suspension (notées « PM » en anglais pour « Particulate matter ») sont d'une manière générale les fines particules représentant un mélange complexe de substances chimiques organiques et inorganiques.

Ces particules sont classées en fonction de leur "diamètre aérodynamique", par exemple, l'appellation "PM10" désigne les particules dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres.



Alors que les particules les plus grosses sont arrêtées dans les voies aériennes supérieures, les particules fines pénètrent plus profondément dans l'organisme (cf. schéma ci-contre).

Les PM2,5 peuvent être acheminées jusque dans les alvéoles pulmonaires au niveau desquelles les substances toxiques voire dangereuses contenues dans les PM migrent dans la circulation sanguine.

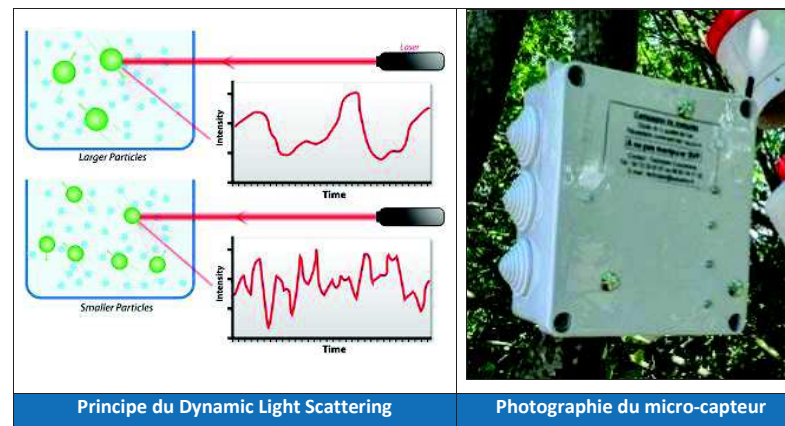


Figure 153: Micro-capteur laser utilisé pour les mesures en continu

Les teneurs dans l'air ambiant des PM10 et des PM2,5 sont règlementées par le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 qui transpose la directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008.

Mesures en continu de longue durée

Les concentrations en PM10 et PM2,5 sont suivies en continu à l'aide d'un micro-capteur à laser.

L'analyse de la concentration des particules atmosphériques est réalisée par diffusion optique selon le précepte du Dynamic Light Scattering (DLS), c'est-à-dire que la longueur d'onde de la lumière diffusée est proportionnelle à la taille des particules.

Cette technique permet d'obtenir en temps réel la concentration massique des particules PM10 et des particules fines PM2,5 simultanément.

Le principe de fonctionnement du capteur est basé sur une technique permettant de réaliser la différenciation des particules en fonction de leur taille et ainsi d'obtenir un profil de distribution des particules en suspension dans l'air ambiant.

La plage de mesure du capteur est de 0 à 500 µg/m³, avec une erreur en moyenne ne dépassant pas les 10%.

La figure ci-après illustre le micro-capteur.

ANNEXE N°4 : MÉTROLOGIE DU DIOXYDE D'AZOTE

La campagne de mesures du NO₂ a été menée à l'aide d'échantillonneurs passifs. L'échantillonneur passif est un tube poreux horizontal rempli d'une cartouche imprégnée d'une solution adaptée à la mesure du polluant désiré. Les tubes, à l'abri des intempéries, restent exposés pour une durée suffisamment longue. Le matériau d'absorption capte le polluant par diffusion moléculaire. Après la période d'exposition, le tube est conditionné puis envoyé au laboratoire accrédité pour analyse.

Mesure du dioxyde d'azote (NO₂)

L'échantillonneur passif pour la mesure du dioxyde d'azote est basé sur le principe de la diffusion passive de molécules de dioxyde d'azote (NO₂) sur un absorbant, le triéthanolamine.

Les échantillonneurs utilisés consistent en un tube de polypropylène de 7,4 cm de long et de 9,5 mm de diamètre.

Pour protéger l'échantillonneur contre les intempéries, de même que pour diminuer l'influence du vent, un dispositif spécifique de protection est utilisé. Ce mode de prélèvement fournit une moyenne sur l'ensemble de la période d'exposition. Il permet une première appréciation de la typologie des sites de mesure et la mesure est seulement représentative pour l'endroit de mesure immédiat

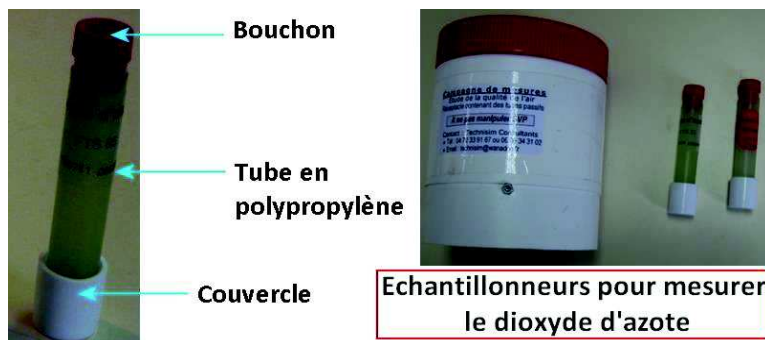


Figure 154 : Échantillonneur passif pour le dioxyde d'azote (Passam)

La quantité de dioxyde d'azote absorbée par l'absorbant est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement.

Après une exposition donnée, la quantité totale de dioxyde d'azote est extraite et déterminée par colorimétrie à 540 nm selon la réaction de Saltzman.

L'erreur relative donnée par le laboratoire est en moyenne de 7 %.

La limite de détection est de 0,4 µg/m³ lors d'une exposition de quatorze jours.

Théorie : La loi de Fick

La diffusion ordinaire est définie comme un transfert de matière dû à un gradient de concentration, d'une région à une autre. Pendant l'échantillonnage, ce dernier s'établit

dans le tube entre le milieu absorbant et l'extrémité ouverte de l'échantillonneur. Dans des conditions de température et de pression constantes, pour un régime fluide laminaire, le flux unidirectionnel (càd 1 seul axe) d'un gaz 1 à travers un gaz 2 est régi par la première loi de Fick :

$$F_{12} = -D_{12} \frac{dC_{12}}{dl} \quad \text{EQUATION 1}$$

F_{12}	Flux unidirectionnel du gaz 1 (le polluant) dans le gaz 2 (l'air) (mol.cm ² .s ⁻¹)
D_{12}	Coefficient de diffusion moléculaire du gaz 1 dans le gaz 2 (cm ² .s ⁻¹)
dC_{12}/dl	Gradient linéaire de concentration le long du trajet de diffusion
C_{12}	Concentration du gaz 1 dans le gaz 2 (mol.cm ⁻³)

Pour un échantillonneur cylindrique, de longueur de diffusion L (cm) et de section interne S (πr², avec r le rayon de la surface réactive) (cm²), présentant un gradient de concentration {C-C₀} le long du capteur, la quantité Q de gaz 1 transférée (mol) est connue par intégration de l'équation (1) :

$$Q = F_{12}.S.t = -D_{12} \frac{(C_0 - C).S.t}{L} \quad \text{EQUATION 2}$$

C	Concentration ambiante du gaz 1
C ₀	Concentration du gaz 1 à la surface du réactif
(C ₀ - C)/L	Gradient de concentration le long de l'échantillonneur cylindrique de longueur L

En supposant que l'efficacité de captage du polluant par le milieu absorbant est de 100 %, les conditions limites des concentrations sont telles que C₀ = 0 au voisinage du piège, d'où : C - C₀ = C.

L'équation (2) devient alors :

$$Q = D_{12} \frac{S}{L} C.t \quad \text{EQUATION 3}$$

À partir de l'équation (3), la concentration s'écrit :

$$C = \frac{Q.L}{D_{12}.S.t} \quad \text{EQUATION 4}$$

Le coefficient de diffusion de NO₂ utilisé pour le calcul des concentrations est celui donné par Palmes et al. (1976) dans l'air, à 20°C et 1 atm : D(NO₂) = 0,154 cm².s⁻¹. Les dimensions du tube de Palmes considérées sont les suivantes (sources Gradko Ltd 1999) :

Longueur L = 7,116 (± 0,020) cm, Diamètre 2r = 1,091 (± 0,015) cm.

Brown et al. (1984) définissent le débit d'échantillonnage (en cm³.s⁻¹) par les équations suivantes :

ANNEXE N°5 : CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES OBSERVÉES DURANT LA CAMPAGNE DE MESURES PAR TUBES PASSIFS DE 2018

Les données des paragraphes qui vont suivre proviennent de la station météorologique de Nice-Côte d'Azur (Coordonnées 43,65°N | 7,20°E) sise à 7,84 km au sud du projet et concernent la période du 03 au 18 septembre 2018.

Températures

Les températures enregistrées lors de la campagne de mesure *in situ* précitée ont été de 23,5°C en moyenne. Cela est plutôt supérieur aux normales saisonnières de septembre, à savoir 21,0°C (Station Météo France de Nice-Côte d'Azur, période 1981-2010). L'amplitude thermique jour/nuit est faible, et la température minimale enregistrée sur la période est supérieure à la température normale moyenne minimale de septembre.

Cela traduit une période particulièrement chaude.

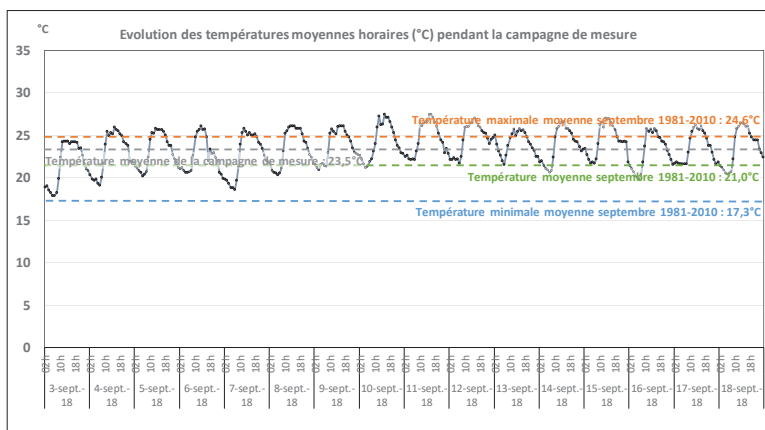


Figure 155 : Evolution de la température moyenne horaire sur la période de mesure

Pour information, la température moyenne annuelle normale pour Nice-Côte d'Azur est de 16,0°C.

Pression atmosphérique

En météorologie, dès lors que la pression descend en dessous de 1010 hPa, il s'agit de basses pressions (« conditions dépressionnaires »). Le vent est plutôt fort et le temps est mauvais avec un ciel souvent fort encombré et des précipitations fréquentes. *A contrario*, lorsque la pression dépasse 1015 hPa, on parle alors de hautes pressions (« conditions anticycloniques »). Le temps est calme mais pas forcément beau.

En saison estivale, de hautes pressions impliquent un beau temps avec un ciel dégagé.

Au cours de l'hiver, les hautes pressions sont souvent accompagnées de brouillards et de nuages bas qui peuvent durer toute la journée.

Le graphique ci-dessous présente les pressions atmosphériques enregistrées lors de la campagne de mesure.

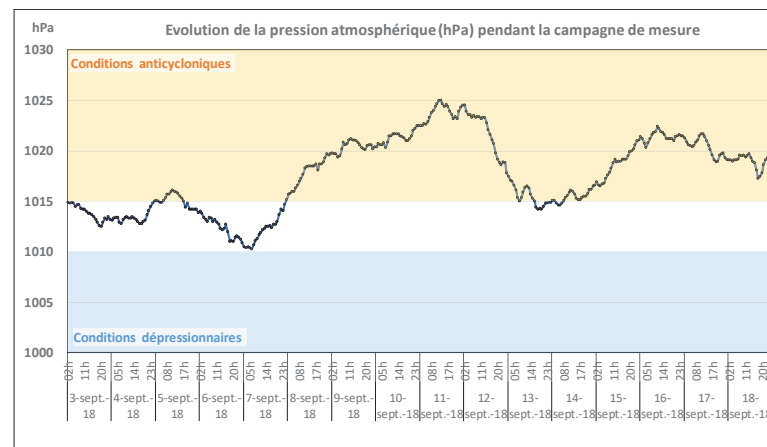


Figure 156 : Evolution de la pression atmosphérique lors de la période de mesure

Les conditions météorologiques ont été essentiellement anticycloniques sur la période.

Il est néanmoins intéressant de noter une baisse de la pression atmosphérique les 05-06 et 12-13 septembre.

Vents moyens et rafales

La figure suivante présente la fréquence et l'origine des vents (rose des vents) pendant la campagne de mesure *in situ*.

Lors de la campagne de mesure, les vents enregistrés sont en majorité des vents du Nord-Nord-Ouest (fréquence de près de 42 %) et des vents répartis entre des vents d'Est à Sud (29 %).

Les vitesses moyennes horaires enregistrées sont comprises entre 0 et 25 km/h, avec des rafales atteignant 36 km/h au maximum.

La vitesse moyenne du vent sur la période est de 10,7 km/h ; les moyennes journalières sont comprises entre 9,2 et 14,1 km/h.

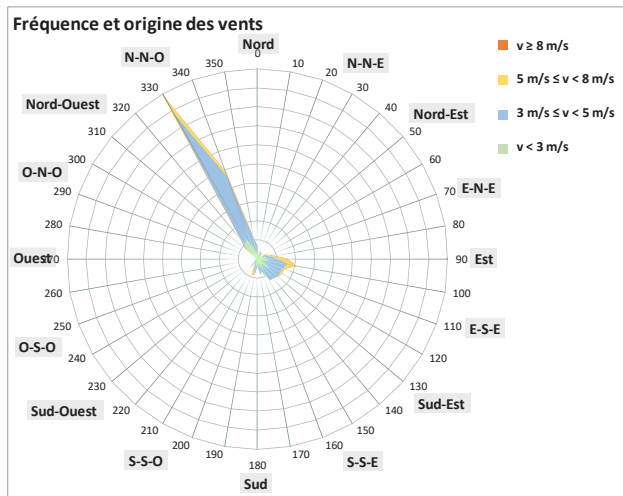


Figure 157 : Origine des vents lors de la période de mesure

Cette rose des vents est conforme à celle observée en moyenne annuelle pour le secteur (cf. figure ci-après). Les vents sur la période sont ainsi représentatifs des conditions habituelles.

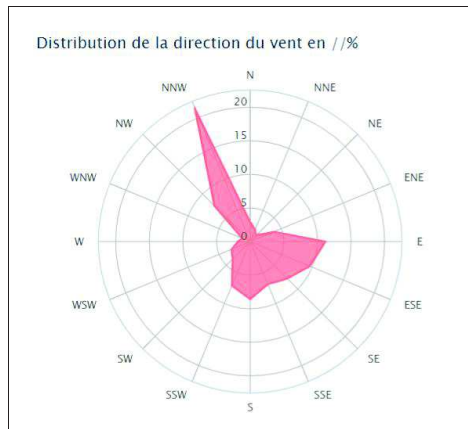


Figure 158 : Rose des vents annuelle pour la station Nice Côte-d'Azur (source : windfinder)

Les moyennes journalières des vitesses⁴³ horaires des vents moyens sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 84 : Vitesse du vent moyen journalier durant la campagne de mesure

Date	Vitesse moyenne du vent [km/h]
03/09/18	11,5
04/09/18	12,2
05/09/18	9,2
06/09/18	11,7
07/09/18	12,2
08/09/18	9,6
09/09/18	9,5
10/09/18	10,0
11/09/18	10,2
12/09/18	10,5
13/09/18	10,4
14/09/18	10,3
15/09/18	14,1
16/09/18	9,5
17/09/18	10,3
18/09/18	10,3
Moyenne	10,7

Pour qualifier les vents, il est couramment utilisé l'échelle de Beaufort. C'est une échelle de mesure empirique de la vitesse moyenne du vent sur une durée de dix minutes, utilisée dans les milieux maritimes. L'échelle de Beaufort comporte 13 degrés (de 0 à 12). Le degré Beaufort correspond à la vitesse moyenne du vent. Cette échelle est résumée dans le tableau ci-après.

⁴³ Vitesses mesurées à 10 mètres au-dessus du sol

Tableau 85 : Echelle de Beaufort

Force	Termes	Vitesse en nœuds	Vitesse en km/h	Effets à terre
0	Calme	< à 1	< à 1	La fumée monte verticalement
1	Très légère brise	1 à 3	1 à 5	La fumée indique la direction du vent. Les girouettes ne s'orientent pas.
2	Légère brise	4 à 6	6 à 11	On sent le vent sur la figure, les feuilles bougent.
3	Petite brise	7 à 10	12 à 19	Les drapeaux flottent bien. Les feuilles sont sans cesse en mouvement.
4	Jolie brise	11 à 15	20 à 28	Les poussières s'envolent. Les petites branches plient.
5	Bonne brise	16 à 20	29 à 38	Les petits arbres balancent. Les sommets de tous les arbres sont agités.
6	Vent frais	21 à 26	39 à 49	On entend siffler le vent.
7	Grand frais	27 à 33	50 à 61	Tous les arbres s'agitent.
8	Coup de vent	34 à 40	62 à 74	Quelques branches cassent.
9	Fort coup de vent	41 à 47	75 à 88	Le vent peut endommager les bâtiments.
10	Tempête	48 à 55	89 à 102	Assez gros dégâts.
11	Violente tempête	56 à 63	103 à 117	Gros dégâts.
12	Ouragan	= ou > à 64	> à 118	Très gros dégâts.

Le graphe suivant illustre les répartitions des vitesses moyennes horaires des vents, exprimées selon l'échelle de Beaufort.

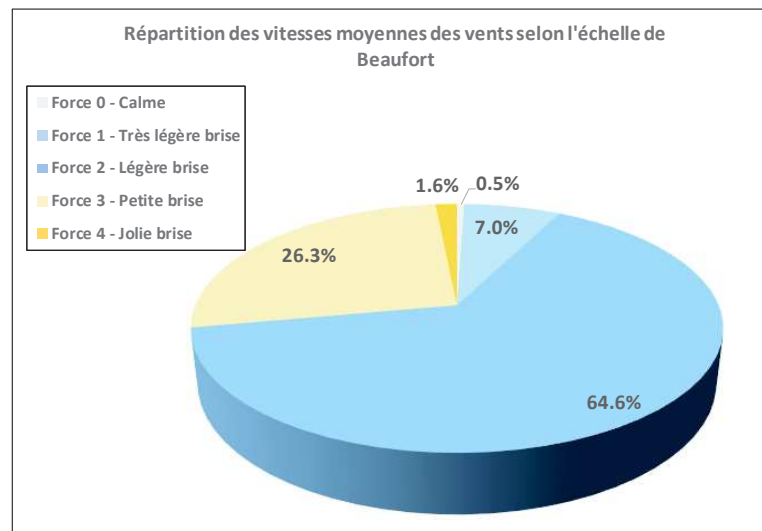


Figure 159 : Répartition des vitesses des vents moyens pendant la campagne de mesure selon l'échelle de Beaufort

Le vent a été présent sur 99,5 % de la campagne de mesure, mais de manière très modérée. 64,6 % des vents étaient qualifiés de 'légère brise'. 7 % du temps les vents étaient de 'très légères brises' et plus d'un quart du temps des 'petites brises'. 1,6 % des vents étaient des 'jolies brises'.

Aucune catégorie supérieure à 'jolie brise' n'a été recensée sur les moyennes horaires des vents.

Les vents mesurés sont surtout des vents faibles.

En effet, les vents de force 0 à 2 représentent 72,1 % des vents mesurés.

Une rafale est, en un site donné, un renforcement brutal et passager du vent qui se traduit par une hausse brève et soudaine de sa vitesse instantanée en comparaison de la valeur alors acquise par sa vitesse moyenne. Chaque rafale possède une certaine amplitude qui fait passer le vent d'un minimum de vitesse instantanée à un maximum de vitesse instantanée appelé la vitesse de pointe de la rafale. Il peut survenir que cette vitesse de pointe soit supérieure de 50 % ou davantage à la vitesse du vent moyen.

La plus grande des vitesses de pointe enregistrées dans un intervalle de temps donné fournit la vitesse maximale du vent au cours de cet intervalle.

La figure suivante présente les rafales horaires enregistrées pendant la période de mesure.

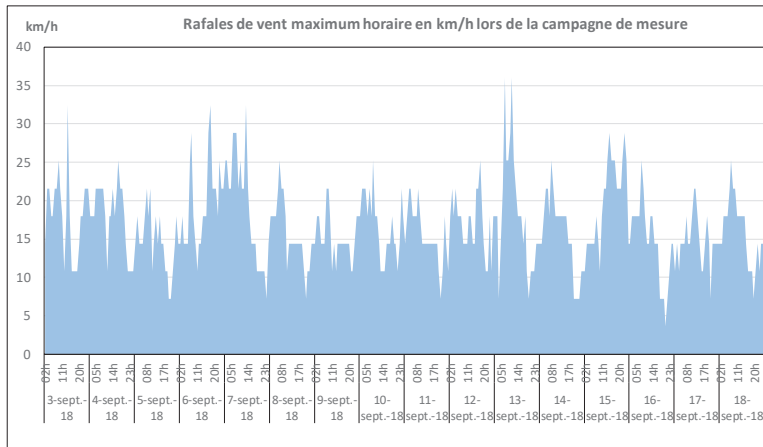


Figure 160 : Rafales horaires enregistrées pendant la campagne de mesure

Lors de la période de mesure, les rafales enregistrées n'ont pas dépassé 36 km/h.

Précipitations

Le graphe suivant présente les précipitations enregistrées au cours de la campagne.

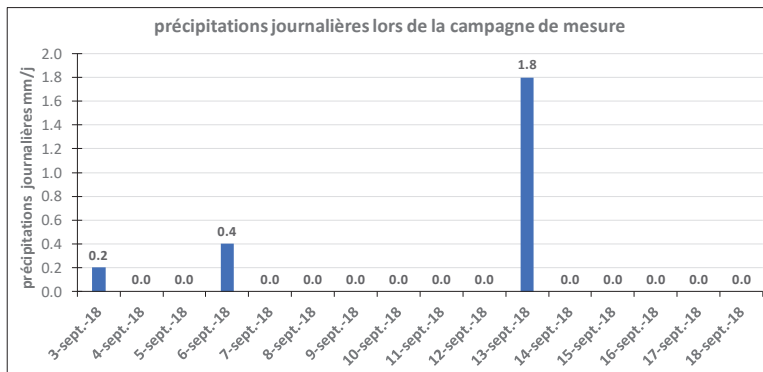


Figure 161 : Précipitations enregistrées lors de la période de mesure

Lors de la campagne de mesure (16 jours), le cumul des précipitations a été de 2,4 mm répartis sur 3 jours.

La pluviométrie est nettement inférieure à la normale mensuelle de septembre (73,1 mm) [Données Météo-France pour 1981-2010].

La période de mesure est de fait une période sèche non représentative des épisodes pluvieux de la zone.

Irradiance et ensoleillement

L'irradiance ou éclairage énergétique correspond à la puissance du flux lumineux par unité de surface. L'irradiance s'exprime en W/m².

L'irradiance est le quotient de l'insolation par la durée de mesure.

L'irradiance en un lieu est soumise à de nombreux paramètres : coordonnées géographiques (heures de lever et de coucher du soleil), topographiques (ombrage du relief lointain), météorologiques (nuages, brouillard), naturels (végétation, faune) ou encore humains (bâtiments, passage de véhicules...).

L'histogramme suivant indique les irradiances journalières dominantes au cours de la campagne de mesure pour la station météo de Nice-Côte d'Azur.

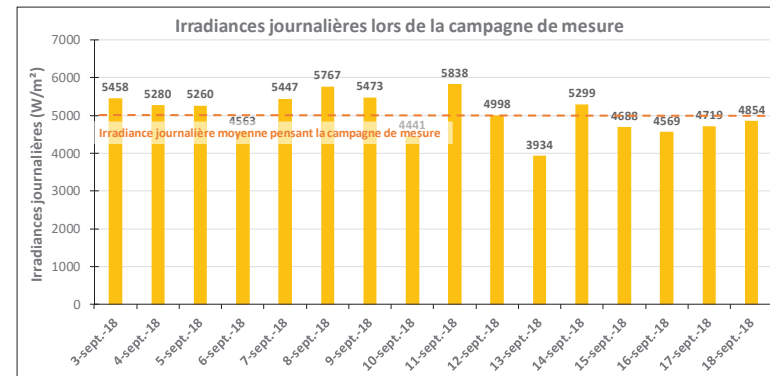


Figure 162 : Irradiances enregistrées pendant la campagne de mesure

Les durées d'ensoleillement correspondantes sont illustrées figure suivante.

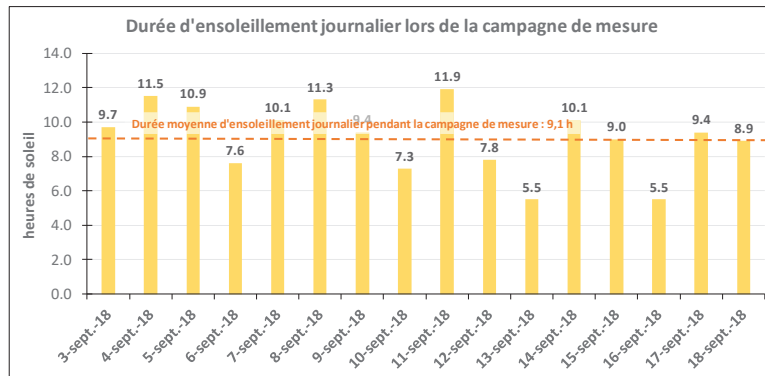


Figure 163 : Durées d'ensoleillement enregistrées lors de la campagne de mesure

Le cumul des heures d'ensoleillement a été de 145,9 h sur la période de 16 jours (soit en moyenne 9,1 h/j). L'ensoleillement sur cette durée est important. A titre de comparaison, le cumul mensuel de la normale de septembre est de 242 h (soit en moyenne 8,1 h/j) [Données Météo-France pour 1981-2010].