

Evaluation des effets de la mise en place du tram E sur la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise

Etude conduite par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes en 2011 et 2019-2020

Sommaire

- I. Contexte et objectif de l'étude
- II. Méthodologie : une évaluation basée sur deux approches complémentaires
- III. Résultats
 1. La situation « sans tram E »
 2. Evaluation « en première approche » des effets globaux attendus de l'aménagement sur la base de l'analyse des émissions de polluants
 3. La situation « avec tram E »
 4. Les effets de la mise en place du tram E
- IV. Synthèse des résultats

I. Contexte et objectif de l'étude



Contexte

La mise en service du tram E en 2014, reliant Grenoble au Fontanil Cornillon, a permis d'améliorer l'accès par le nord à l'agglomération grenobloise en transports collectifs.

La mise en place de cette ligne s'est inscrite dans le cadre d'un nouveau dispositif « le contrat d'axe » dont le but est de favoriser une meilleure articulation entre les transports en commun et l'urbanisation, grâce à des objectifs de création de logement dans l'aire d'influence du tram. Ce dispositif, a permis également d'effectuer un suivi « avant/après » des impacts de la ligne E sur l'environnement et notamment sur la qualité de l'air. Ce suivi alimente le bilan Loti¹ dont l'un des l'objectifs est d'évaluer l'évolution de l'impact des déplacements sur l'environnement et la santé publique sur une période qui part de la situation avant travaux et va jusqu'à quelques années après la mise en service du tram.

Dans ce contexte, une démarche d'évaluation a été mise en œuvre par ATMO AuRA en partenariat avec le SMMAG² (maitre d'ouvrage) et l'AURG³. Des campagnes de mesures de qualité de l'air ont été réalisées « avant » (2011) et « après » (2019) la mise en service du tram E. La situation « avant » de la ligne E a fait l'objet d'un bilan déjà établi : <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/etat-initial-de-la-qualite-de-lair-en-2011-sur-le-trace-de-la-future-ligne-de-tram-e>.

La présente étude a pour objet d'établir la situation « après » de la ligne. Cependant, il est difficile de distinguer l'effet spécifique de la ligne E sur la qualité de l'air sur la base exclusive d'une analyse des données de mesures. En effet d'autres facteurs non liés au tramway tels que la météorologie (avec des années plus ou moins favorables à la dispersion des polluants), l'évolution du parc de véhicules, le nouveau plan de circulation lié à « cœur de ville, cœur de métropole » influencent la qualité de l'air.

De ce fait, une modélisation qui permet d'isoler l'effet spécifique de la mise en place de la ligne E grâce à la comparaison pour une même année (2018) d'un scénario « avec tram E » et « sans tram E » a été réalisée. Cette modélisation permet en outre d'estimer l'évolution du nombre de personnes exposées à une mauvaise qualité de l'air en intégrant les constructions de logements réalisées à proximité du tram dans le cadre du contrat d'axe.

¹ Le bilan LOTI est une évaluation obligatoire des infrastructures de transport ayant bénéficié d'un financement de l'Etat à réaliser au moins 5 ans après la mise en service.

² Syndicat Mixte des mobilités de l'aire grenobloise

³ Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise

Objectif de l'étude

Evaluer les effets de la mise en place de la ligne de tram E sur la qualité de l'air à l'aide de deux approches complémentaires :

- Des campagnes de mesures, réalisées « avant tram E» (2011) et « après tram E» (2019)
- Des modélisations numériques de la qualité de l'air dans les conditions « sans tram et sans les constructions réalisées dans le contrat d'axe» et « avec tram, en intégrant les constructions réalisées dans le cadre du contrat d'axe ».

¹ Le bilan LOTI est une évaluation obligatoire des infrastructures de transport ayant bénéficié d'un financement de l'Etat à réaliser au moins 5 ans après la mise en service.

² Syndicat Mixte des mobilités de l'aire grenobloise

³ Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise

II. Méthodologie

Une évaluation basée sur deux approches complémentaires :
la mesure et la modélisation numérique



Une évaluation détaillée basée sur deux approches complémentaires

1. Dispositif de mesure déployé « avant » et « après » la mise en place de la ligne de tram E Grenoble-le Fontanil Cornillon.

« Avant » (2011) : mesures effectuées en complément de celles déjà évaluées en 2007* sur le tracé de la ligne et dans le périmètre du fuseau d'intensification du contrat d'axe accompagnant la mise en place du tramway. Le contrat d'axe fixe des objectifs de construction de logements à l'intérieur de ce fuseau,

✓ Ce dispositif a pour objectif d'évaluer les effets de la mise en place de la ligne E et des projets d'aménagement urbains associés sur la qualité de l'air dans le périmètre du contrat d'axe.

* : étude préalable du tram E : <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/publications/projet-de-requalification-de-la-ligne-de-bus-3-en-ligne-de-tram-e>

« Après » (2019) : le dispositif mis en place en 2011 a été reconduit et complété par des points de mesures dans les secteurs de plus forte urbanisation le long du tramway.

Le dispositif de mesure (cf. Annexes 1 et 2) :

- 1 laboratoire mobile à Saint Egrève (quartier Saint Robert (en situation de proximité trafic) : mesures en continu des particules PM_{10} , $PM_{2,5}$ et du dioxyde d'azote NO_2 (pendant un an de mi-janvier 2019 à mi-janvier 2020).
- Mesures « légères » indicatives (échantillonneurs passifs) du dioxyde d'azote NO_2 (4 campagnes de 2 semaines) : 27 sites en 2011 ; 33 sites 2019

Avantages/limites de l'approche

- « + » : permet une évaluation « directe » des niveaux de polluants
- « - » : fournit une information « ponctuelle », limitée à la localisation des points de mesure
- « - » : la variation des niveaux de polluants entre 2011 et 2019 est influencée par de nombreux paramètres et ne peut donc pas être attribuée exclusivement au tramway



Dispositif de mesure

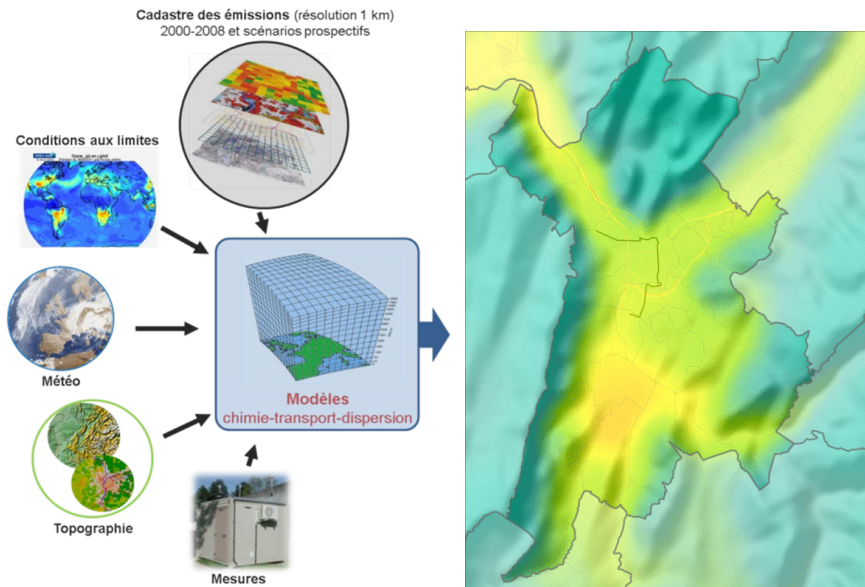
- **Un laboratoire mobile** av. Général de Gaulle à Saint Egrève .
- ◆ **33 Echantillonneurs passifs NO_2 en 2019**
- 27 sites en 2011

Une évaluation détaillée basée sur deux approches complémentaires

2. Approche par modélisation numérique de la qualité de l'air déterministe permettant de cartographier les niveaux de polluants pour deux scénarios de trafic « avec tram E » et « et sans tram E » toutes choses égales par ailleurs (cf .annexe 5)

Avantages/limites de l'approche

- « + » : permet d'évaluer l'exposition en tout point du territoire (cartographie)
- « + » : seuls les effets de la variation du trafic routier sont évalués (toutes choses égales par ailleurs : météorologie, émissions des autres secteurs d'activité, évolution du parc de véhicules)
- « + » : permet d'estimer l'évolution du nombre de personnes exposées à une mauvaise qualité de l'air en intégrant les constructions réalisées dans le cadre du contrat d'axe
- « - » : les résultats sont directement dépendants de la « fiabilité » des simulations trafics utilisées en entrée



Chaîne de modélisation numérique d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes et principaux paramètres du calcul

Remarque : les simulations du trafic routier servant de données d'entrée aux modélisations de la qualité de l'air réalisées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes ont été élaborées par l'Agence d'Urbanisme Région Grenobloise (AURG). Atmo Auvergne-Rhône-Alpes n'a pas d'expertise dans le domaine du trafic et ne peut pas juger de la pertinence de ces simulations.

Calcul des émissions de polluants

Référentiel PCIT/OMINEA (CITEPA)

Calcul des émissions de polluants par le trafic routier pour les 2 scénarios « sans Tram » et « avec tram » :

- Méthode de calcul : COPERT5
- Parc de véhicules : CITEPA (AME 2020)
- Météorologie : 2018
- Modélisation trafic : AURG

Calcul des émissions de polluants « hors trafic routier »

- Inventaire correspondant à l'année 2017 (2017Version2019)

Modélisations chimie/transport/dispersion

- Imbrication du modèle méso-échelle Chimère et du modèle urbain SIRANE (gaussien avec prise en compte du bâti)
- Résolution spatiale : 10 m
- Météorologie : année 2018
- 2 scénarios détaillés en annexe 5 :
 - Cartes annuelles réglementaires 2018 : « avec tram »
 - Cartes annuelles 2018 auxquelles on a soustrait les effets du tram (différence entre les scénarii avec trafic avec tram et avec trafic sans tram) : « sans tram »

Populations et bâti prises en compte dans les calculs

- « sans tram » : 2011
- « avec tram » : 2015

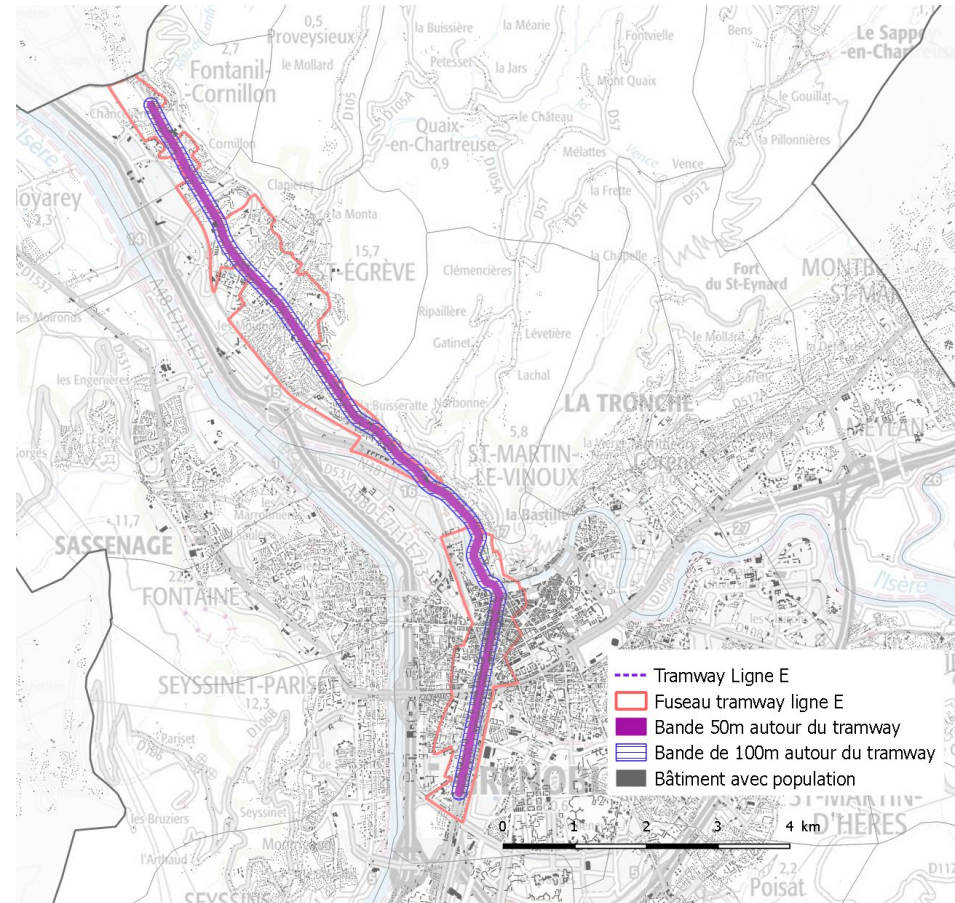
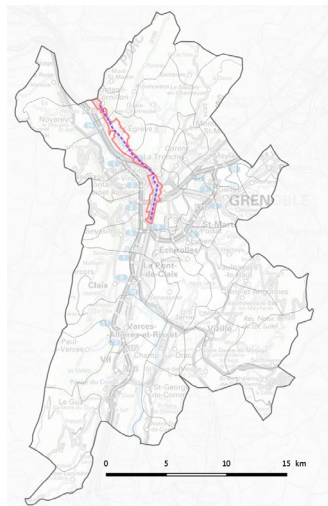
Polluants cartographiés par modélisation

- Particules PM₁₀ et PM_{2,5}
- Dioxyde d'azote NO₂

Une évaluation détaillée sur différents périmètres

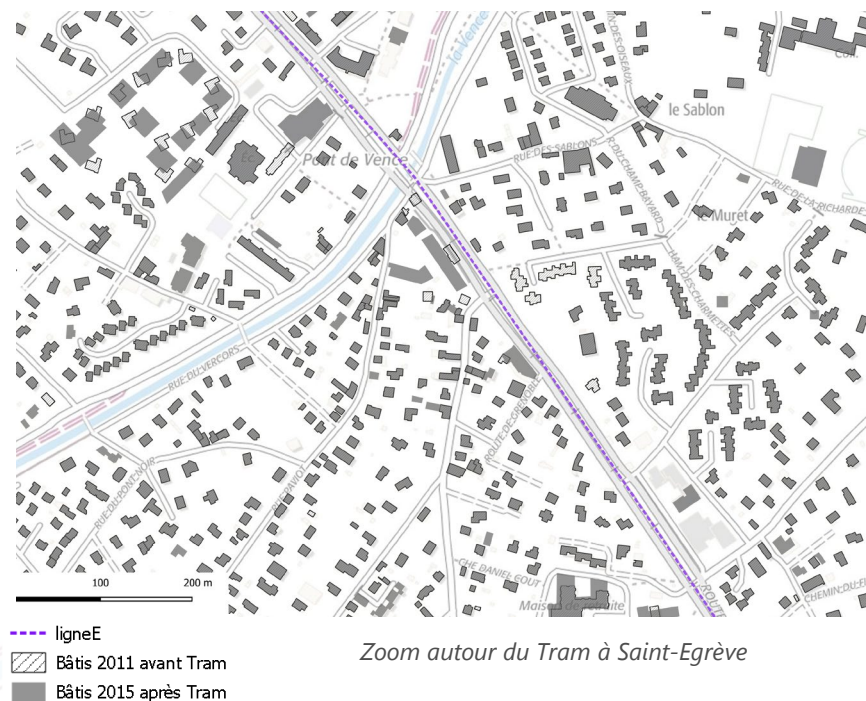
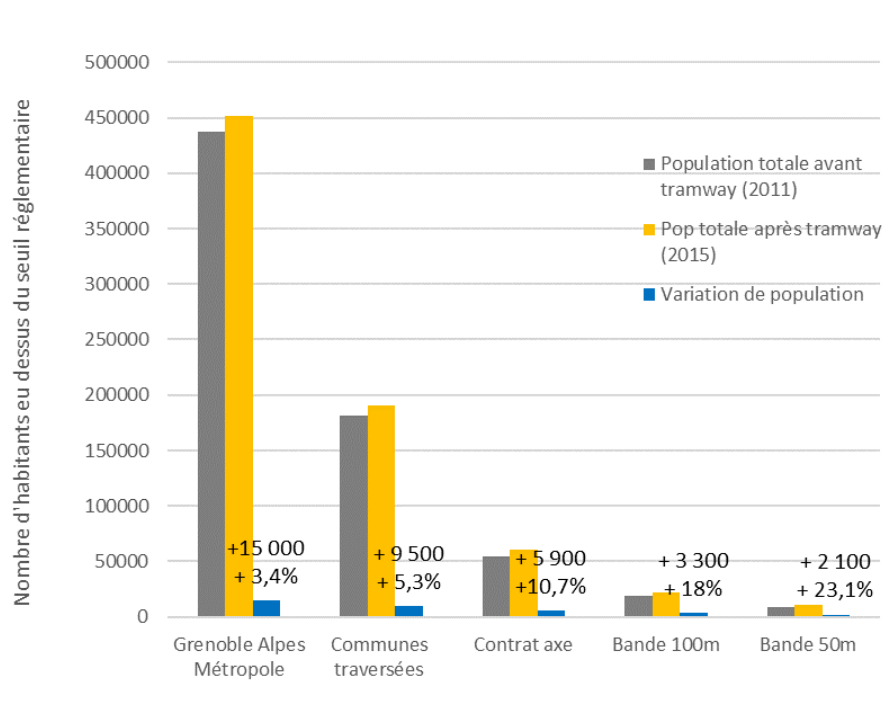
L'approche par modélisation numérique de la qualité de l'air permettant d'évaluer l'exposition en tout point du territoire, l'analyse des effets de la mise en service de la ligne E a été réalisée sur **différents périmètres** :

- L'ensemble de la métropole grenobloise
- Les quatre communes traversées par la ligne E du tramway (Grenoble, Saint-Martin-le-Vinoux, Saint-Egrève et Le Fontanil-Cornillon)
- La zone du contrat d'axe où l'urbanisation a été particulièrement renforcée du fait de la construction de la nouvelle ligne de tramway
- Une bande de 50m autour du tracé de la ligne de tramway
- Une bande de 100m autour du tracé de la ligne de tramway



Les périmètres d'analyse de l'effet du tramway

Une prise en compte de l'évolution de la population liée à la densification urbaine autour de la ligne E du tramway

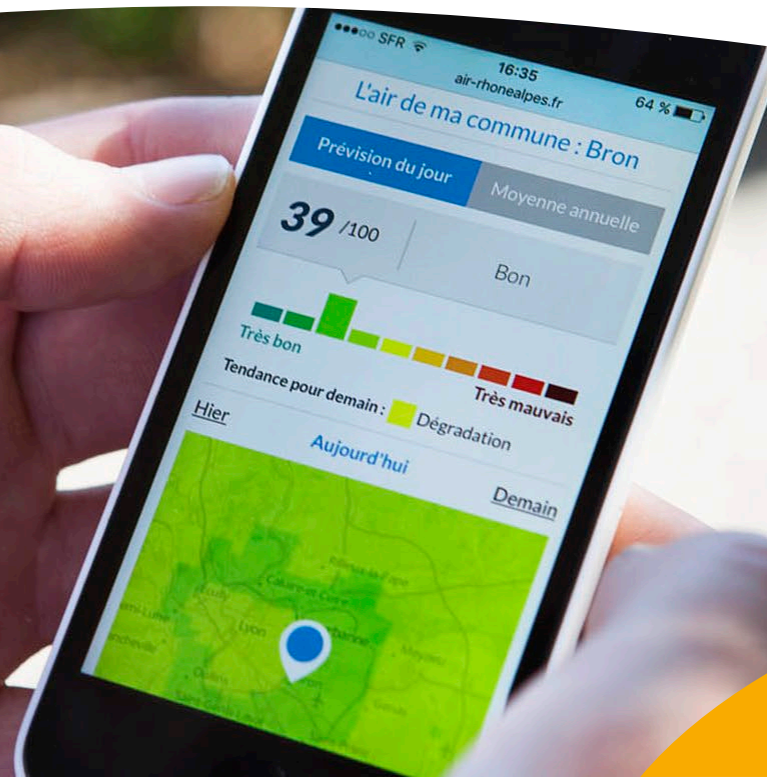


Evolution de la population entre la situation 2011 avant la mise en service du tram et la situation 2015 après mise en service du tram. A gauche histogramme des populations 2011 et 2015 selon les différentes zones d'études et variations de populations associées ; à droite : illustration des modifications d'urbanisation autour du tracé de la ligne E du tramway

Commentaires :

- La population prise en compte pour les calculs d'exposition « sans tram » est celle de 2011 (ajustée en lien avec la suppression des constructions réalisées entre 2010 et 2011 dans le fuseau d'intensification du contrat d'axe).
- La population prise en compte pour les calculs d'exposition « avec tram » est celle de 2015 (ajustée pour ajouter les constructions mises en chantier entre 2015 et 2018 dans le fuseau d'intensification du contrat d'axe)
- Sur toutes les zones d'études, la population a augmenté entre 2011 et 2015.
- Cette augmentation est toutefois plus importante à proximité de la ligne de tram E en raison de la densification de l'habitat liée au contrat d'axe.
- Ces variations de populations sont prises en compte dans les calculs d'exposition des populations à la pollution atmosphérique.

III. Résultats



III. Résultats

L'évaluation des effets de la ligne E de tramway sur la qualité de l'air repose essentiellement sur la comparaison de deux conditions : « sans tram » et « avec tram ». Chacune de ces conditions est évaluée grâce à deux approches complémentaires : la modélisation et la mesure.

Les résultats de cette vaste étude sont rapportés « pas à pas » selon le plan présenté ci-dessous :

1. Evaluation de la situation « sans tram E »
2. Evaluation « en première approche » des effets globaux attendus sur la base de l'analyse des émissions de polluants
3. Evaluation de la situation « avec Tram E »
4. Les effets de la mise en place du tram E

Ces évaluations sont réalisées sur différentes zones :

- la métropole grenobloise,
- les 4 communes traversées par la ligne de tramway,
- la zone du contrat d'axe,
- une zone de 50m de part et d'autre du tracé du tramway,
- Une zone de 100m de part et d'autre du tracé du tramway.

Chaque section est composée d'une ou plusieurs pages présentant les figures associées à un commentaire succinct, précédée par une page de commentaires détaillés.

Les résultats exposés concernent essentiellement le dioxyde d'azote (NO₂) car ce polluant, outre les enjeux sanitaires et réglementaires qu'il représente, est essentiellement lié au trafic routier et constitue donc un « traceur » pertinent des impacts potentiels associés à des modifications liées à la mise en service d'une ligne de tramway.

Cependant, les particules en suspension ont également fait l'objet d'une analyse détaillée dont les résultats sont présentés en annexe (Cf. Annexe 6).

1. Evaluation de la situation « sans tram E »

La situation « sans tram » a été évaluée par la modélisation et par la mesure en 2011 avant la mise en place du tramway

1.1. La situation « sans tram » évaluée par modélisation

La page suivante (intitulée 1.1) présente la carte de la concentration annuelle moyenne de dioxyde d'azote (NO₂) établie par modélisation (à gauche). Les zones les plus exposées sont celles en proximité immédiate des grandes voiries routières de contournement et des principaux axes routiers structurants de l'agglomération en raison de l'intensité du trafic routier et de la densité du bâti qui favorise l'accumulation de ce polluant dans les rues.

Le croisement de la carte de concentration avec celle de la répartition détaillée de la population permet d'évaluer le niveau d'exposition des habitants de la métropole. L'analyse de la distribution de l'exposition de la population (page intitulée 1.1 ; à droite) est différenciée pour la population totale de l'agglomération (en gris) et pour la population des communes traversées par la ligne E (en bleu). L'exposition moyenne de la population au NO₂ à l'échelle de la métropole est de 20,7 µg/m³. Celle-ci est plus faible que celle des communes traversées par le tracé du tramway (23,9 µg/m³) en raison d'une urbanisation globale moins dense sur l'ensemble de la métropole que sur la commune de Grenoble notamment.

Cette exposition moyenne atteint respectivement 24,6, 26 et 27,1 µg/m³ dans la zone du contrat d'axe, dans une bande de 100 et dans une bande de 50m autour du tracé du tramway.

Environ 780 habitants de la métropole sont exposés à un dépassement du seuil réglementaire pour le NO₂ (valeur limite annuelle 40 µg/m³ ; DE 2008/50/CE) et la majorité d'entre eux (560) résident à Grenoble. Aucun habitant des autres communes traversées par le tracé du tramway E n'est exposé à des dépassements du seuil réglementaire pour le NO₂.

1.2 La situation « sans tram » évaluée par la mesure en 2011

La page intitulée 1.2 présente les résultats des campagnes de mesures du NO₂ réalisées en 2011 sur le tracé de la ligne E. Le dispositif de mesure repose sur 27 sites équipés avec des échantillonneurs passifs pour le NO₂ investigués au cours de 4 campagnes de 2 semaines (méthode « légère » et indicative ; cf. Annexes 1 et 2).

Les 27 valeurs de concentrations annuelles moyennes sont représentées de manière cartographique (à gauche ; les valeurs sont traduites par la couleur des points ; le fond de carte correspondant à la modélisation de 2011.) Cette figure montre que les résultats de mesures sont globalement cohérents avec ceux issus de la modélisation avec notamment une « surexposition » des sites de proximité routière. Les niveaux mesurés sont compris entre 22 et 72 µg/m³ (à droite). Les valeurs maximales sont mesurées sur les sites localisés le long du cours Jean Jaurès à Grenoble (sites 5 et 6) et au niveau de l'esplanade à proximité de la route nationale RN481 (site 10).

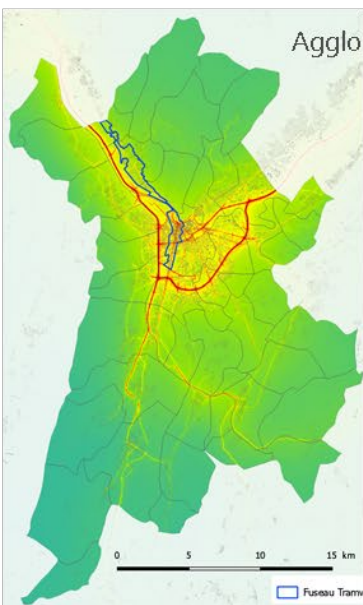
Une analyse complémentaire de la variation temporelle fine des niveaux de NO₂ basée sur les données collectées « en continu » au niveau des stations de mesure du réseau d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a été réalisée (Cf. Annexe 3). Elle montre notamment que les profils temporels quotidiens présentent deux pics (matin et soir), traduisant l'influence directe des niveaux de trafic sur la concentration de NO₂. Le niveau global de NO₂ et l'amplitude des « deux pics » dépendent fortement de la typologie d'implantation (proximité trafic > fond urbain > fond périurbain). La station temporaire implantée à Saint Egrève le long de la départementale 1075 présente un profil assez typique du « fond urbain » (proche de celui de la station implantée à Villeneuve) mais avec une influence du trafic un peu plus marquée.

1.1. Situation « sans tram » évaluée par modélisation

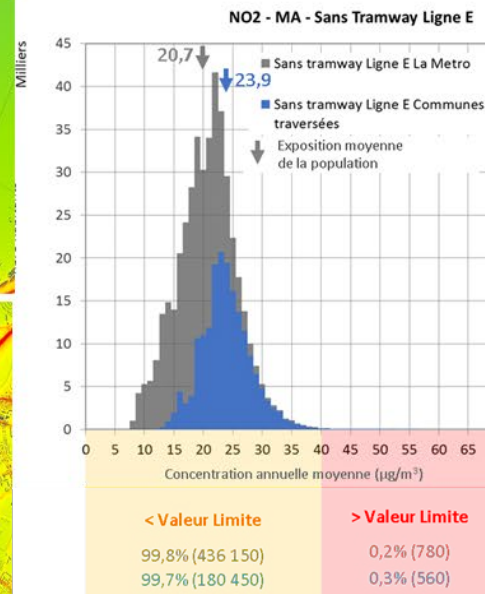
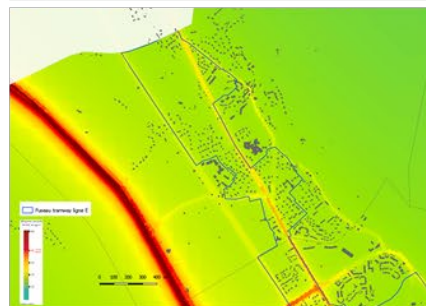
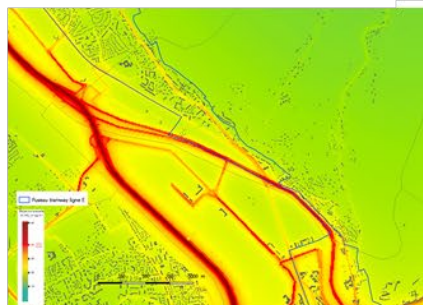
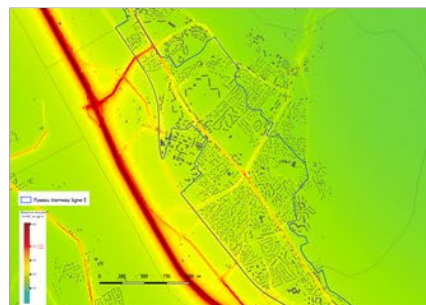
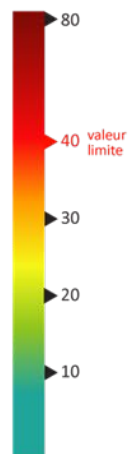
« Sans Tramway Ligne E » - Modélisation - Dioxyde d'azote (NO₂) – Conc. annuelle moyenne

Cartographie

Exposition de la population



Moyenne annuelle de NO₂ en µg.m⁻³

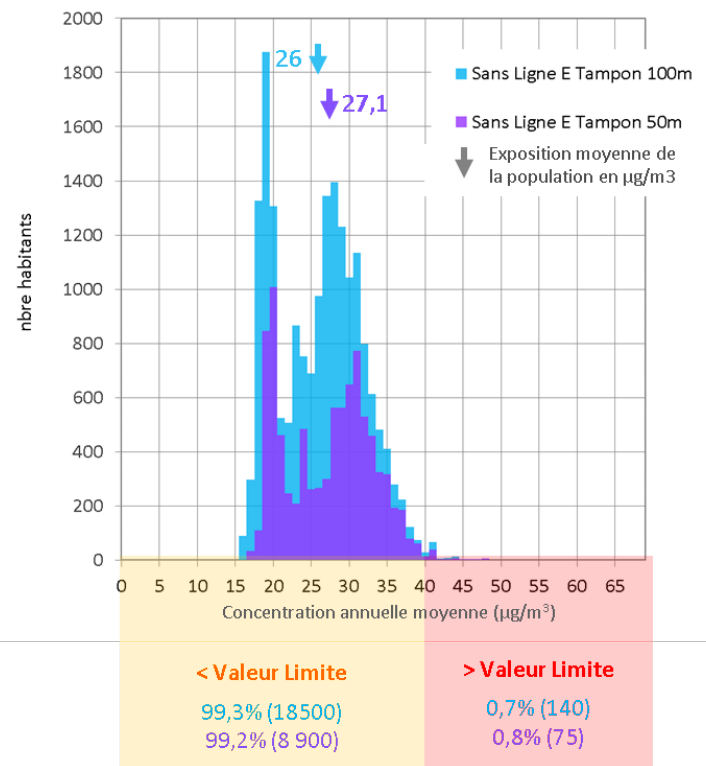
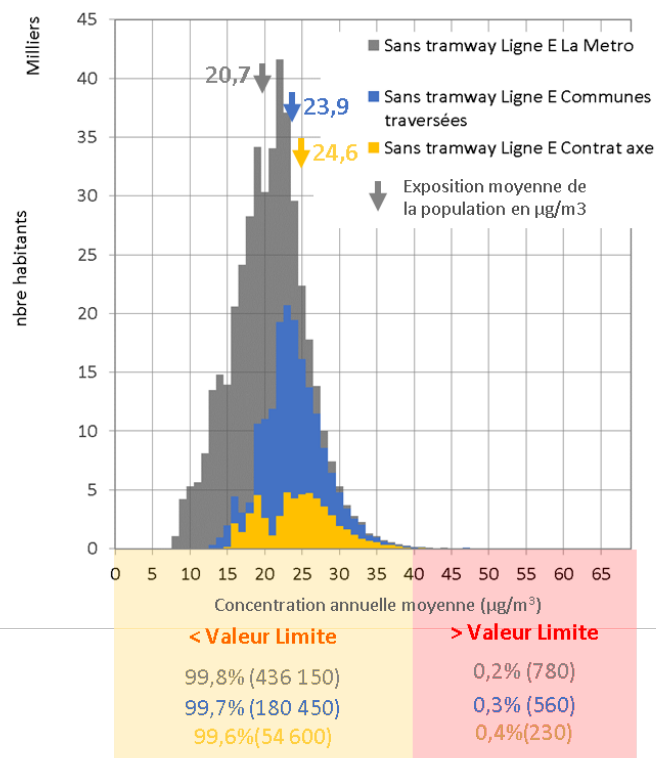


Exposition de la population au dioxyde d'azote (NO₂) dans la situation « sans tramway Ligne E ». A gauche : carte de la concentration annuelle moyenne de NO₂ dans la situation « sans Ligne E » établie par modélisation numérique à l'échelle de l'agglomération et des quatre communes traversées par le tracé de la ligne E ; à droite : histogramme de distribution de l'exposition de la population à l'échelle de l'agglomération (en gris) et des communes traversées (en bleu). Les valeurs indiquées sous le graphique correspondent à la part de la population en pourcent (et au nombre d'habitants) exposés à des concentrations de NO₂ supérieures (à droite) et inférieures (à gauche) à la valeur limite (fixée à 40 µg/m³).

Résumé des commentaires :

- Les zones de proximité routière sont fortement exposées au dioxyde d'azote.
- Le cœur de l'agglomération de Grenoble est une zone à enjeu en matière d'exposition au NO₂ et notamment les principaux axes routiers structurants.
- L'exposition moyenne de la population à l'échelle de la métropole est de 20,7 µg/m³ (23,9 µg/m³ pour les communes traversées).
- Environ 780 habitants de la métropole sont exposés à un dépassement de la valeur réglementaire pour le NO₂ (dont 560 à Grenoble). Aucun habitant des autres communes traversées par le tracé du tramway n'est exposé à des dépassements de seuil réglementaire pour le NO₂.

1.1. Situation « sans tram » évaluée par modélisation – exposition des différentes zones



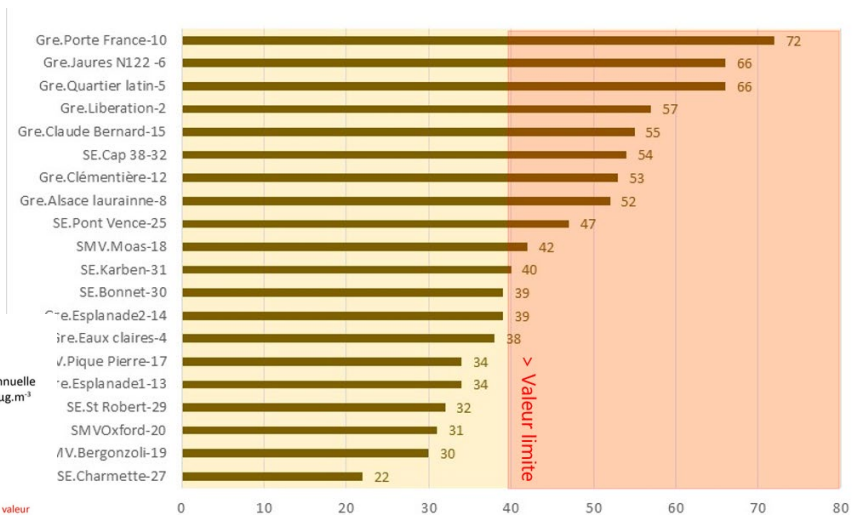
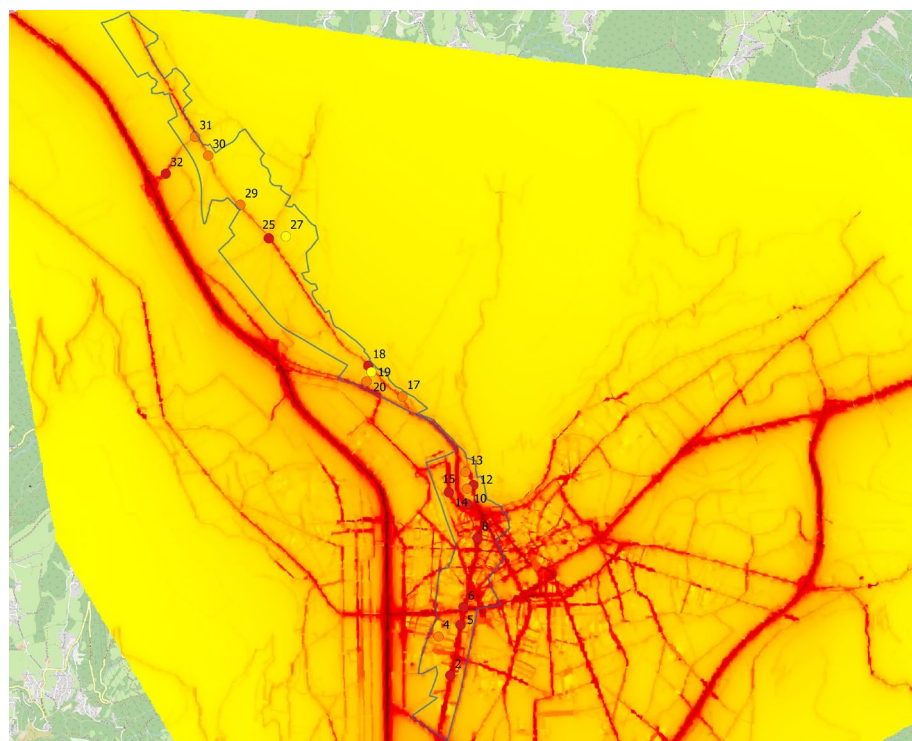
Exposition de la population au dioxyde d'azote (NO_2) dans la situation « sans tramway Ligne E ». A gauche : histogramme de distribution de l'exposition de la population à l'échelle de l'agglomération (en gris), des communes traversées (en bleu), de la zone du contrat d'axe (en jaune); à droite : histogramme de distribution de l'exposition de la population à l'échelle de d'une bande de 100m autour du tracé du tramway (en bleu) et dans une bande de 50m autour du tracé du tramway (en violet). Les valeurs indiquées sous le graphique correspondent à la part de la population en pourcentage (et au nombre d'habitants) exposés à des concentrations de NO_2 supérieures (à droite) et inférieures (à gauche) à la valeur limite sur les différentes zones.

Commentaires

- L'exposition moyenne est d'autant plus élevée que la zone est réduite et proche des axes routiers : dans l'ensemble de la métropole : **$20.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$** , les communes traversées par le tracé du tram : **$23.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$** , la zone du contrat d'axe : **$24.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$** , une bande de 100m : **$26 \mu\text{g}/\text{m}^3$** , et une bande de 50m autour du tracé du tramway : **$27.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$**
- Tous les habitants exposés au dessus du seuil réglementaire résident sur la commune de Grenoble.
- Un tiers des habitants de l'agglomération exposés au dessus du seuil réglementaire se situe dans la zone du contrat d'axe.
- 25% des personnes exposés des communes traversées par le tramway habitent dans une bande de 100m autour des axes routiers principaux situés sur le tracé du futur tramway.

1.2. Situation « avant tram » évaluée par la mesure en 2011

Avant tram E - Mesures 2011 - Dioxyde d'azote (NO₂) – Conc. annuelle moyenne



Evaluation de la concentration annuelle moyenne de dioxyde d'azote (NO₂) dans la situation « sans tram » basée sur la mesure par échantillonneurs passifs en 27 sites entre Grenoble et le Fontanil Cornillon . A gauche : carte des points de mesure (la couleur du point traduit la concentration ; le fond de carte correspond à la modélisation de 2011 et permet « d'habiller » la représentation ; le chiffre indiqué sur la carte correspond à l'identifiant du site) ; à droite : la concentration annuelle moyenne enregistrée au niveaux des 27 sites de mesure.

Commentaire succinct

- Les résultats de mesures sont cohérents avec la modélisation de 2011 (cf. annexe 2).
- Les niveaux mesurés sont compris entre 22 et 72 µg/m³
- Les valeurs maximales sont mesurées sur les sites localisés à Grenoble le long du cours Jean Jaurès (sites 5 et 6) et au niveau de l'esplanade à proximité de la RN 481 (site10).
- Plus généralement, des niveaux plus faibles sont observés entre St Martin le Vinoux et le Fontanil, à l'exception de certains sites proches du trafic (sites 18, 32) et de carrefours importants (sites 25 : Pont de Vence et 31 : Karben).

2. Evaluation « en première approche » des effets globaux attendus sur la base de l'analyse des émissions de polluants

La première étape de la modélisation détaillée des concentrations de polluants dans l'air consiste à calculer les émissions des différents polluants atmosphériques (en tonnes/an). Une analyse des résultats du calcul des émissions des transports routiers pour les conditions « sans tram » et « avec tram » permet d'aborder « en première approche » les effets attendus de la mise en place du tram E,

Le calcul des émissions des transports routiers repose sur la méthode standardisée COPERT5 et utilise comme données d'entrée une simulation du trafic (décrivant les niveaux de trafic sur les différents « brins » routiers) ainsi qu'un ensemble de paramètres tels que la composition du parc roulant (types de véhicules, carburant, norme EURO...), la vitesse de circulation, la pente de la voirie ou la température. Les modélisations du trafic utilisées dans cette analyse sont issues de modélisations réalisées par l'AURG (voir partie II. Méthodologie).

La page suivante présente les cinq zones d'étude sur lesquelles les estimations des émissions ont été réalisées. Elles ne concernent que les territoires de 4 communes traversées par le tracé du tramway ligne E qui recoupent la zone du contrat d'axe. La commune de Grenoble a été scindée en 2 parties (Nord et Sud).

Les résultats globaux présentés ensuite, concernent les distances parcourues par les véhicules et les émissions des principaux polluants urbains de l'air (oxydes d'azote NO_x, particules PM_{2,5} et PM₁₀) et de dioxyde de carbone (principal gaz à effet de serre émis par les transports routiers).

A l'échelle de l'agglomération (en bas), les distances parcourues globales et les émissions de polluants par le trafic routier varient faiblement (-1%) entre les conditions « sans tram » et « avec tram ».

Sur la zone du contrat d'axe, les variations sont plus importantes. La mise en service de la ligne E permet de réduire les distances parcourues de 10%, les émissions de CO₂ et d'oxydes d'azote (NO_x) de 11% et les émissions de particules de 7 à 9%.

C'est sur la commune de Grenoble que cette diminution est la plus importante. (jusqu'à -14% selon les polluants analysés).

Sur la commune du Fontanil-Cornillon, cette diminution est beaucoup plus réduite (avec un maximum de -2%).

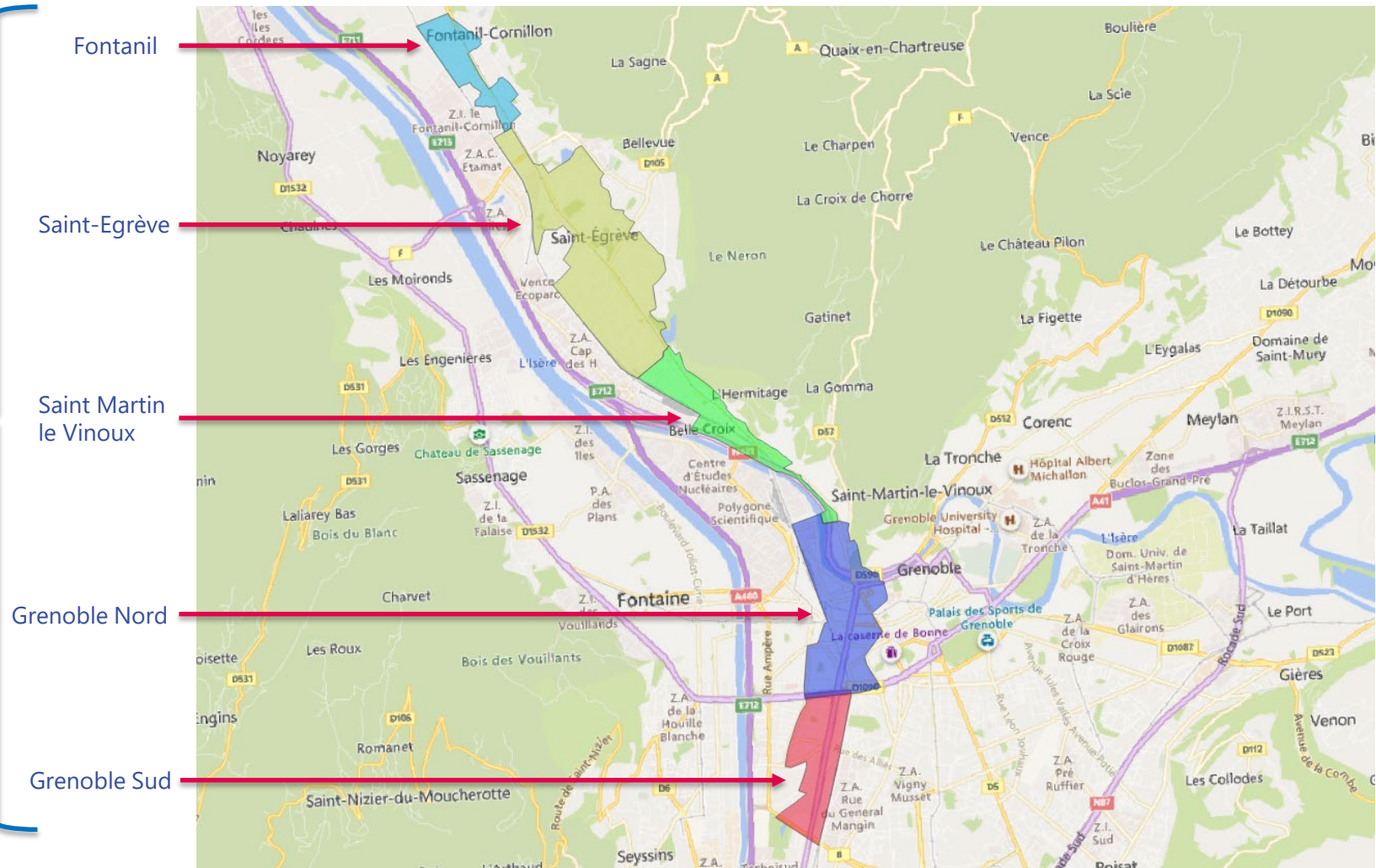
Les cartes de variations d'émissions qui suivent localisent les brins routiers les plus impactés par la mise en service du tram E. Le Cours Jean Jaurès à Grenoble, la RD 1075 sur la commune de Saint-Martin-le-Vinoux notamment, les Quai de France et Quai de la Perrière observent les plus fortes diminution d'émissions d'oxydes d'azote et de particules.

Les voies d'accès au tracé du tramway sur les communes du Fontanil et de Saint-Egrève, ainsi que la RD 1075 sur la commune du Fontanil, observent des légères augmentations des émissions de ces deux polluants.

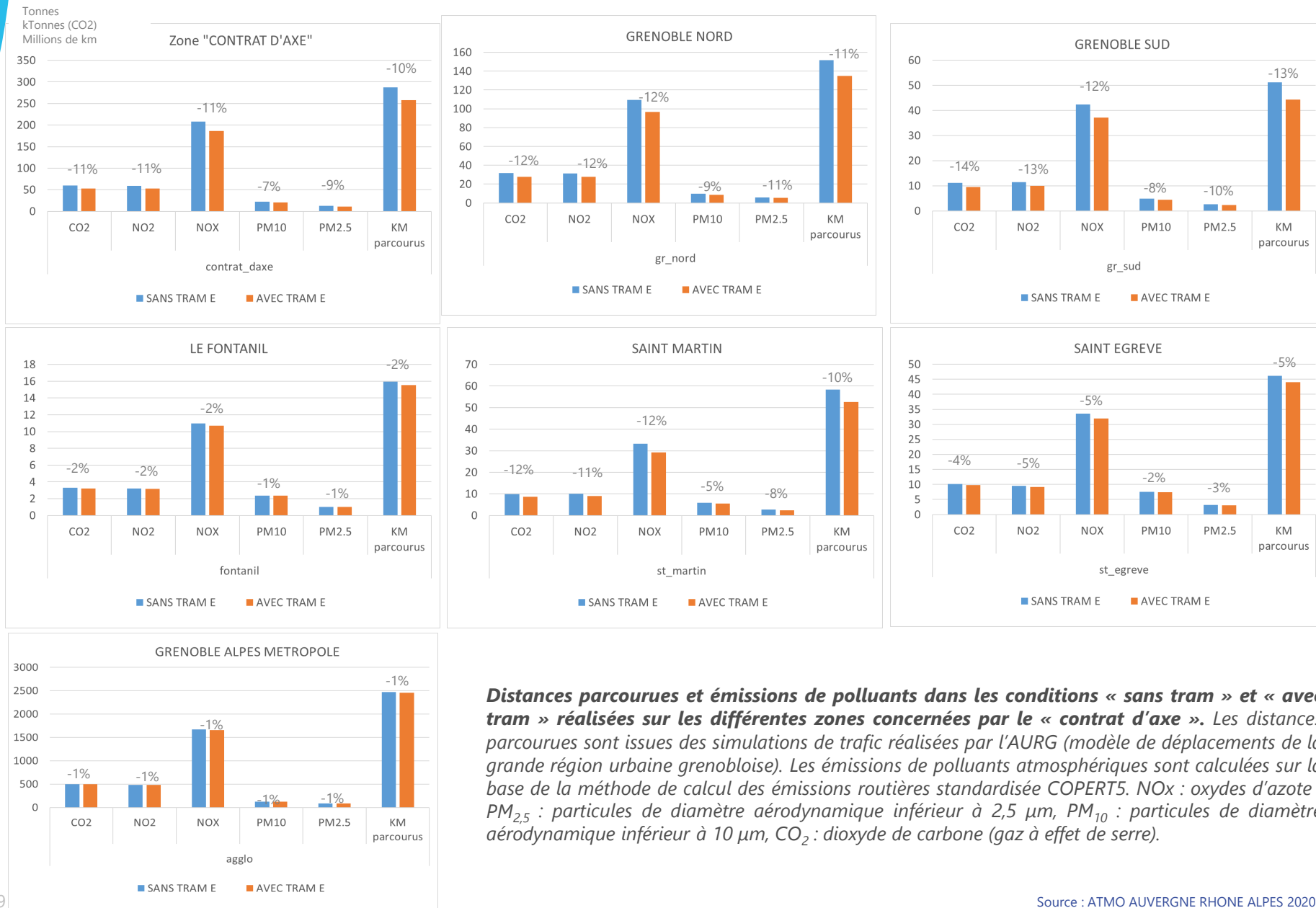
2. Bilan des émissions (hors resuspension)

2.1. Les zones d'étude

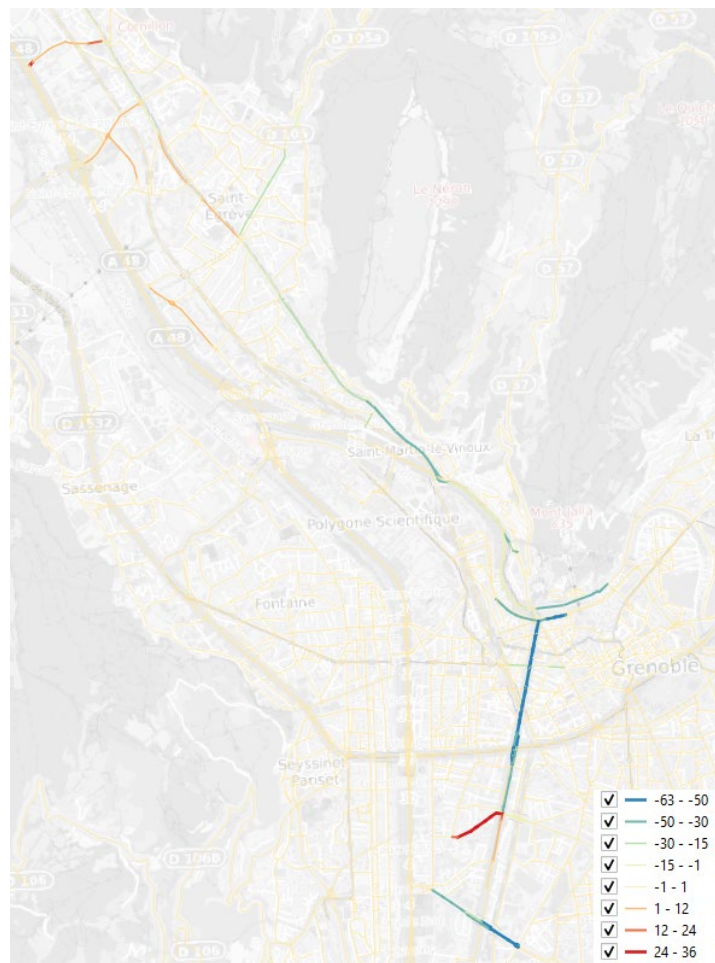
Contrat d'axe



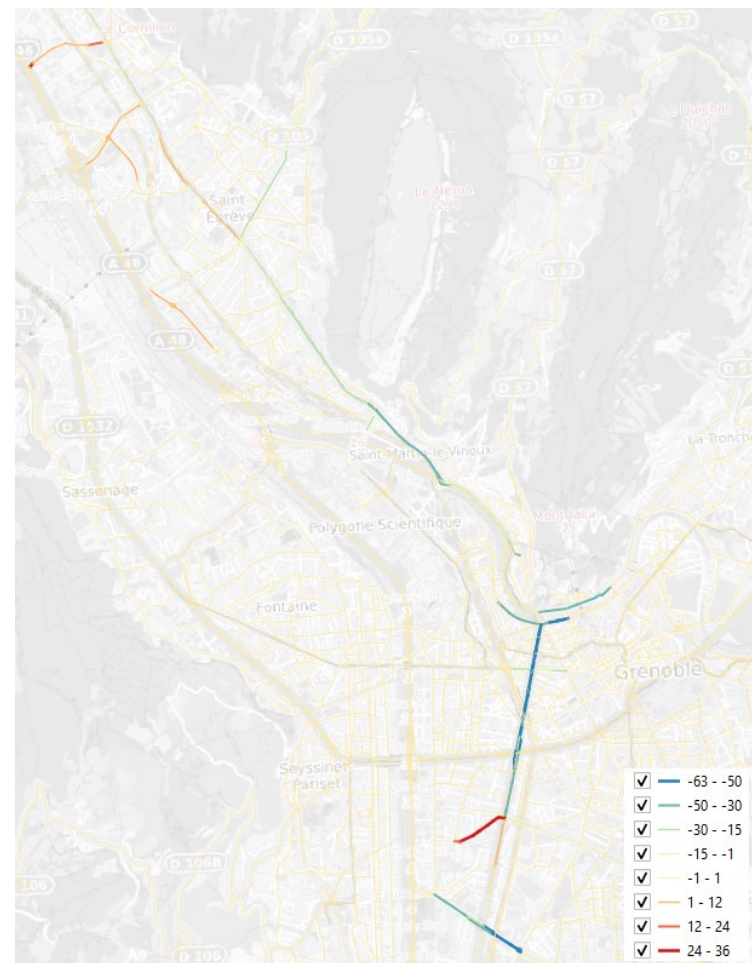
2.2. Comparatif 2018 (sans tram E) / 2018 (avec tram E)



2.3. Cartographie des émissions par brins routier (NOx / PM10) Comparatif 2018 (sans tram E) / 2018 (avec tram E)



Rapport en % des émissions NO2 entre les 2 scénarios
(avec tram E par rapport à sans tram E)



Rapport en % des émissions PM10 entre les 2 scénarios
(avec tram E par rapport à sans tram E)

3. Evaluation de la situation « avec tramway Ligne E »

La situation « avec tramway Ligne E » a été évaluée à la fois par modélisation et par la mesure. Les résultats de l'évaluation de l'exposition au dioxyde d'azote (NO₂) dans la condition « avec tramway Ligne E » sont exposés dans les deux pages suivantes selon la même présentation que ceux de la condition « sans tramway Ligne E » (partie 1).

3.1. La situation « avec tramway Ligne E » évaluée par modélisation

Les résultats de l'évaluation de la condition « avec tramway Ligne E » établie par modélisation sont présentés à la page suivante (intitulée 3.1). La carte de la concentration annuelle moyenne de NO₂ établie par modélisation est présentée à gauche et l'histogramme de distribution de l'exposition de la population à droite.

L'évaluation des effets détaillés a fait l'objet d'une analyse comparée fine des deux scénarios présentée dans la section 4 de ce rapport. Toutefois, en première approche, il est possible de constater que les concentrations de NO₂ diminuent le long du tramway et les valeurs des indicateurs globaux d'exposition sur les différentes zones d'étude diminuent également (exposition moyenne : 20,5 µg/m³ à l'échelle de l'agglomération ; 23,3 µg/m³ à l'échelle des communes traversées, 23,4, 23,9 et 24,4 µg/m³ dans la zone du contrat d'axe et dans une bande de 100m et dans une bande de 50m autour du tracé du tramway.).

Le nombre d'habitants exposés à un dépassement du seuil réglementaire est également réduit : 610 à l'échelle de l'agglomération ; 385 à l'échelle de la commune de Grenoble).

3.2 La situation « avec tram » évaluée par la mesure en 2019

La page intitulée 3..2 présente les résultats des campagnes de mesures du NO₂ réalisées en 2019 sur le tracé du tram. Le dispositif

de mesures repose sur 33 sites équipés avec des échantillonneurs passifs pour le NO₂ (Cf. Annexe 2). Le plan d'échantillonnage reprend la majorité des sites investigués en 2011 et est complété par d'autres sites positionnés le long du tracé sur les secteurs de densification urbaine.

Les 33 valeurs de concentrations annuelles moyennes sont représentées de manière cartographique (à gauche ; les valeurs sont traduites par la couleur des points). Les concentrations sont comprises entre 17 et 53 µg/m³. Les résultats de mesures confirment ceux de la modélisation, notamment la forte exposition des zones de proximité immédiate d'axes routiers à fort trafic comme le cours Jean Jaurès (par ex. sur les points 3, 6 et 7) et la porte de France (sites 9 et 10). Les valeurs relevées, et notamment les niveaux maximum proches de 53 µg/m³, ne sont pas « inattendus » puisque de tels niveaux (voire des niveaux plus élevés) ont déjà été enregistrés dans l'agglomération en situation de proximité trafic marquée¹.

Toutefois, même si les résultats de mesure montrent encore l'influence du trafic automobile sur la qualité de l'air mesurée sur ces sites, une baisse sensible des niveaux de NO₂ entre 2011 et 2019 est observée. Les modifications de circulation réalisées dans le cadre du projet tram E ont eu un impact positif sur la qualité de l'air mesurée dans les secteurs du cours Jean Jaurès et de la porte de France.

L'évolution de la qualité de l'air au niveau des autres communes traversées par le tramway est moins visible,

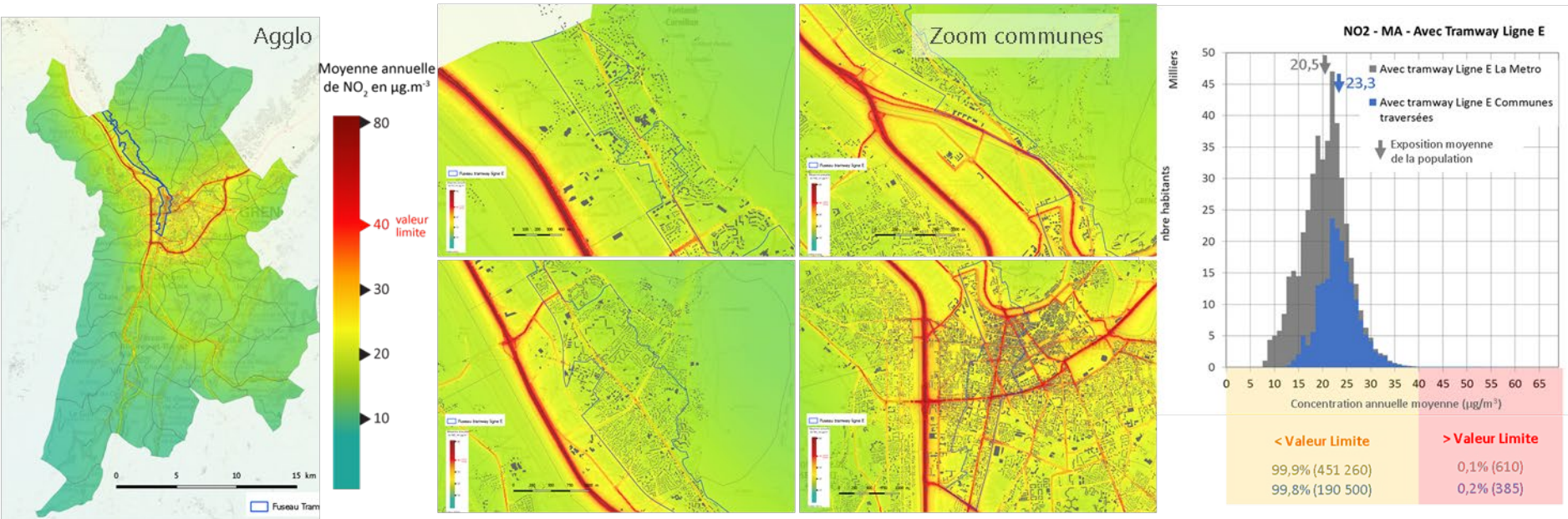
¹ par ex : *Etat initial de la qualité de l'air en 2011 sur le tracé de la future ligne de tram E (Air Rhône-Alpes, 2013) ; Etude d'impact de l'aménagement de A480 et du Rondeau (oct 2017).*

3.1. La situation « avec tramway Ligne E » évaluée par modélisation

« Avec Tramway Ligne E » - Modélisation - Dioxyde d'azote (NO₂) - Conc. annuelle moyenne

Cartographie

Exposition de la population

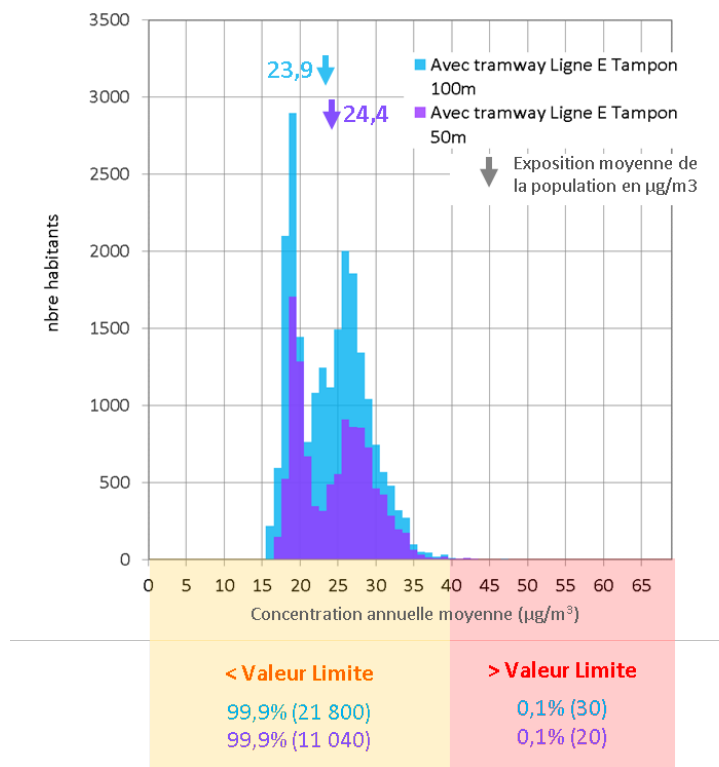
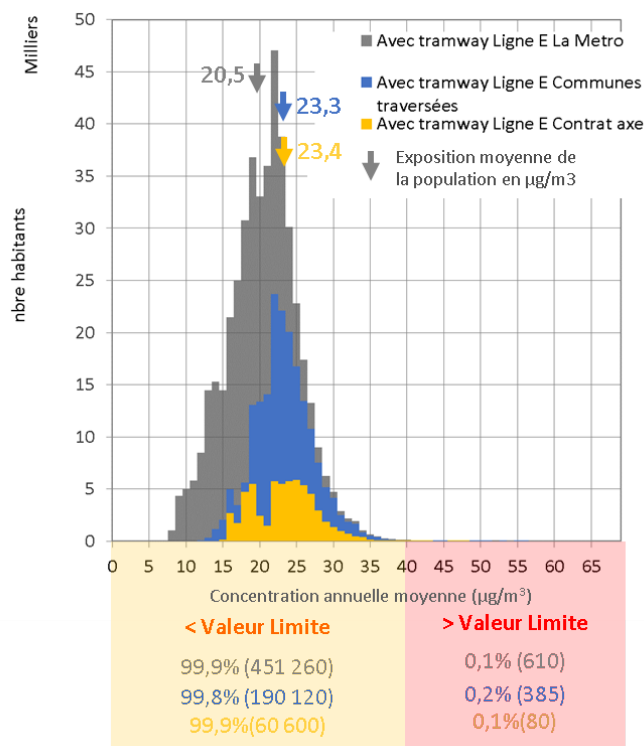


Exposition de la population au dioxyde d'azote (NO₂) dans la situation « avec tramway Ligne E ». A gauche : carte de la concentration annuelle moyenne de NO₂ dans la situation « avec tramway Ligne E » établie par modélisation numérique à l'échelle de l'agglomération et du centre-ville de Grenoble ; à droite : histogramme de distribution de l'exposition de la population à l'échelle de l'agglomération (en jaune) et des communes traversées par la ligne de tramway (en bleu). Les valeurs indiquées sous le graphique correspondent à la part de la population en pourcent (et au nombre d'habitants) exposés à des concentrations de NO₂ supérieures (à droite) et inférieures (à gauche) à la valeur limite.

Résumé des commentaires :

- En première approche, les concentrations de NO₂ diminuent le long de la ligne de tramway.
- Les valeurs des indicateurs globaux d'exposition à l'échelle de la métropole ou des communes traversées par la ligne de tramway diminuent également.
- L'exposition moyenne de la métropole reste plus faible que celle des communes traversées par le tramway en raison d'une urbanisation globale moins dense sur l'ensemble de la métropole que sur les zones d'étude.

3.1. Situation « avec tramway Ligne E » évaluée par modélisation – exposition des différentes zones

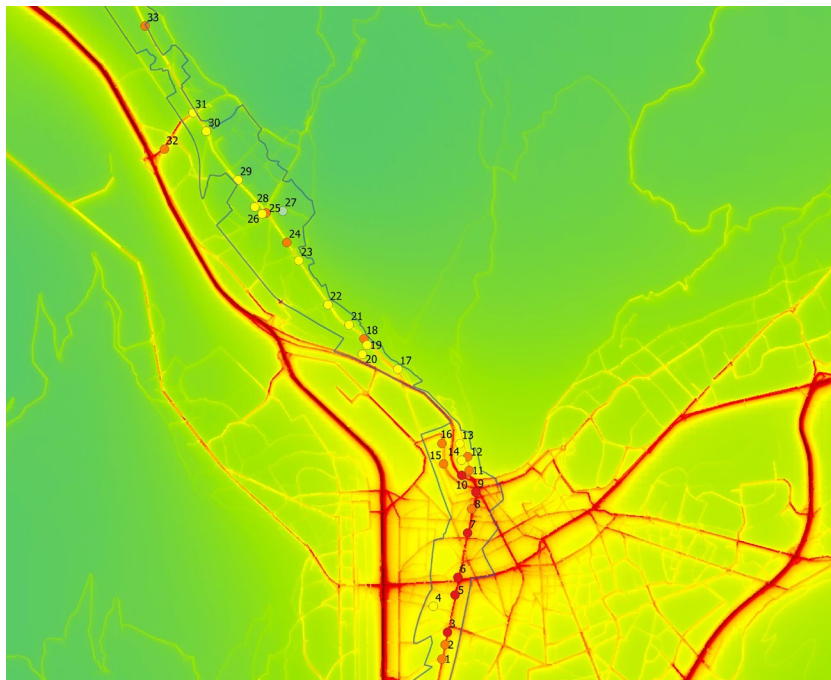


Exposition de la population au dioxyde d'azote (NO_2) dans la situation « avec tramway Ligne E ». A gauche : histogramme de distribution de l'exposition de la population à l'échelle de l'agglomération (en gris), des communes traversées (en bleu), de la zone du contrat d'axe (en jaune); à droite : histogramme de distribution de l'exposition de la population à l'échelle d'une bande de 100m autour du tracé du tramway (en bleu) et dans une bande de 50m autour du tracé du tramway (en violet). Les valeurs indiquées sous le graphique correspondent à la part de la population en pourcent (et au nombre d'habitants) exposés à des concentrations de NO_2 supérieures (à droite) et inférieures (à gauche) à la valeur limite sur les différentes zones.

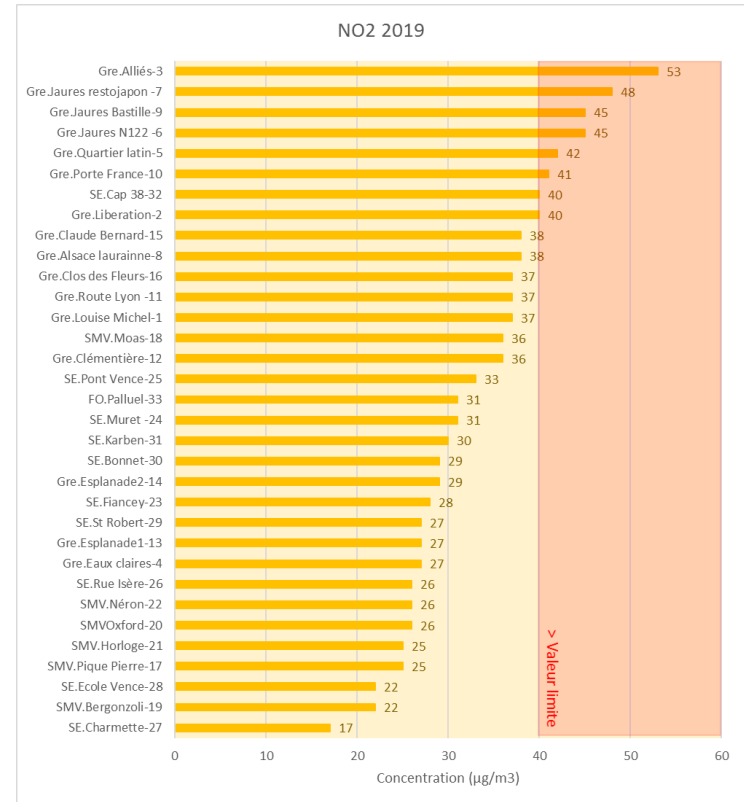
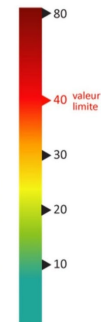
Commentaires

- L'exposition moyenne est équivalente sur les communes traversées par la ligne de tramway et sur la zone du contrat d'axe.
- La valeur moyenne annuelle d'exposition au NO_2 a diminué sur l'ensemble des zones étudiées.
- Tous les habitants exposés au dessus du seuil réglementaire résident sur la commune de Grenoble.
- Moins de 10% des habitants de l'agglomération exposés au dessus du seuil réglementaire se situe dans la zone du contrat d'axe.
- 25% des personnes exposées des communes traversées par le tramway habitent dans une bande de 50m autour du tramway.

3.2. La situation « avec tram » évaluée par la mesure en 2019



Moyenne annuelle de NO₂ en µg.m⁻³



Résumé des commentaires :

- Les concentrations de NO₂ mesurées en 2019 sont comprises entre 17 µg/m³ (les Charmettes à St Egrève) et 53 µg/m³ (Crs J. Jaures-Alliés)
- Les mesures confirment les résultats issus de la modélisation des concentrations en 2019.
- Les niveaux les plus élevés sont observés sur les sites localisés le long du cours Jean Jaurès à Grenoble (sites 3, 6 et 7) et au niveau de la place H.Dubedoux - Porte de France (sites 9 et 10). Ces résultats montrent encore une forte influence du trafic automobile sur la qualité de l'air pour cette partie du tracé.
- Les niveaux de NO₂ mesurés au niveau des communes de St Martin le Vinoux, Saint Egrève et du Fontanil se rapprochent plus des niveaux mesurés sur les sites de fond urbains grenoblois que de ceux observés en proximité automobile, sauf sur certains sites proches du trafic : site 18 à St-Martin le Vinoux ou site 32 - Cap 38 à saint Egrève, où les concentrations sont plus élevées.

Evaluation de la concentration annuelle moyenne de dioxyde d'azote (NO₂) dans la condition « avec tram » basée sur la mesure par échantillonneurs passifs en 33 sites sur la ligne Grenoble le Fontanil en 2019*. A gauche : carte des points de mesure (la couleur du point traduit la concentration ; le fond de carte correspond à la modélisation 2019 ; à droite : la concentration annuelle moyenne enregistrée au niveau des 33 sites de mesure.

4. Les effets de la mise en place du « tram E » sur les concentrations de NO₂

La section suivante présente les résultats de la comparaison des évaluations des conditions « sans tram » et « avec tram » visant à dériver les effets spécifiques liés à la mise en place de cette ligne de tramway sur la qualité de l'air. Ces analyses sont basées sur deux approches complémentaires : la modélisation et la mesure.

4.1 Les effets de la mise en place du « tram E » évalués par modélisation

4.1.1 Analyse des cartes

La page 4.1.1 présente les cartes globales de la zone et les cartes par commune, montrant la différence des concentrations entre les scénarii avec et sans tram. Ces cartes indiquent que la mise en service du tramway réduit les concentrations le long des rues qui ont été réaménagées pour accueillir le tram, et qu'elle tend à légèrement augmenter les concentrations de NO₂ sur les voies d'accès au tramway sur la commune du Fontanil-Cornillon et de Saint-Egrève . Ces premiers éléments de conclusion sont confortés par l'analyse de l'exposition de la population présentée aux pages 4.1.2 à 4.1.3.

4.1.2 Analyse globale de l'exposition de la population au NO₂

La page intitulée 4.1.2 présente les histogrammes de distribution de l'exposition de la population pour les conditions « sans tram » et « avec tram ». Il apparaît que la distribution

globale de l'exposition des habitants de la métropole est peu influencée par la mise en service du tram E.

Toutefois, sur les communes traversées par le tramway E, on observe une réduction de l'exposition moyenne d'un peu plus de 2 %, sur la zone du contrat d'axe, cette réduction atteint presque 5% et cette baisse est maximale (-10%) dans une bande de 50m autour du tracé du tramway.

La page intitulée 4.1.3 présente les histogrammes d'exposition des habitants à des concentrations supérieures à la valeur limite pour le NO₂.

Il apparaît que la mise en service du tramway permet de réduire de 170 habitants le nombre de personnes qui respirent un air non conforme aux valeurs réglementaires, malgré une augmentation de 9500 habitants dans les communes traversées, entre les situations avec et sans tram .

4. Les effets de la mise en place du « tram E » sur les concentrations de NO₂

4.2 Les effets de la mise en place du tram évalués par la mesure

La page intitulée 4.2 présente la comparaison des résultats des campagnes de mesures du NO₂ réalisées en 2011 et 2019 sur le tracé du tram E (déjà présentés individuellement dans les parties 1.2 et 3.2). Pour rappel, le dispositif de mesure repose sur des échantillonneurs passifs pour le NO₂ (méthode « légère » et indicative ; cf. Annexe 2). Le plan d'échantillonnage comprend 27 sites investigués en 2011 et 33 en 2019 pour lequel une comparaison « sans »/« avec » est possible sur 20 sites uniquement.

La carte à gauche présente la variation des concentrations mesurées entre 2011 et 2019 au niveau des 20 sites investigués. La couleur des points traduit l'amplitude de la variation. Plus la couleur est foncée, plus la concentration entre 2011 et 2019 diminue. Plus elle est claire, moins elle diminue.

Globalement, l'analyse de la variation des concentrations mesurées est cohérente avec les résultats issus de l'approche par modélisation, et confirme l'amplitude ainsi que le sens des effets locaux liés à la mise en place du tram. En effet, elle indique notamment que la concentration de NO₂ diminue sensiblement le long du cours Jean Jaurès ou de la porte de France (par ex. la concentration passe de 66 à 45 µg/m³ sur le site « Grenoble Jaures – 6 » et de 72 à 41 µg/m³ sur le site « Grenoble Porte de France – 10 » ; figure page 4.2 à droite). Les mesures confirment également que la baisse

des concentrations de NO₂ au niveau des autres communes traversées par le tram est moins marquée. Cette dernière semble plutôt équivalente à la diminution des niveaux observés en fond ou en proximité trafic en NO₂ depuis 2011 au niveau de l'agglomération grenobloise, en lien avec le renouvellement du parc automobile.

Remarque 1 :

La valeur maximale en NO₂ (54 µg/m³) en 2019 est observée sur le site « Grenoble Alliés-3 » où une augmentation des émissions est également perceptible dans ce secteur.

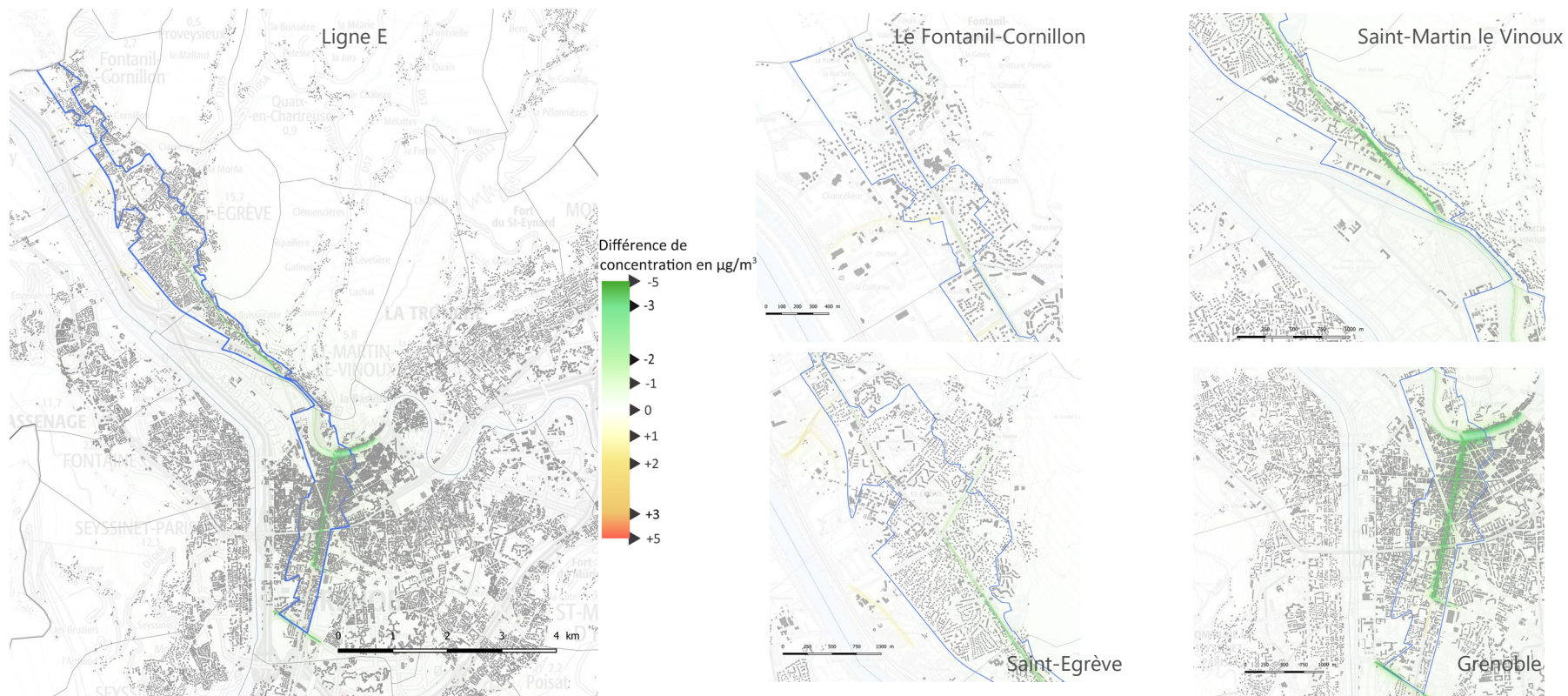
Les résultats de modélisations montrent également une augmentation des concentrations de NO₂ sur la Zone de l'Île Brune à Saint-Egrève.

La mise en place du tram a généré une baisse du trafic notamment le long du cours Jean Jaurès à Grenoble mais d'autres projets d'aménagement locaux, tel que CVCM, l'aménagement de A480 ou les travaux liés au tram ont un impact sur les déplacements et influent sur les émissions de polluants,

4.1. Effets de la mise en place du « tram » évalués par modélisation

4.1.1 Cartes de concentration de NO₂

Evolution de la concentration de NO₂ en moyenne annuelle entre la situation "sans tram ni contrat d'axe" et la situation "avec tram et contrat d'axe".



Cartes de différence de concentration annuelle moyenne de NO₂ établies par modélisation numérique à l'échelle de l'agglomération.

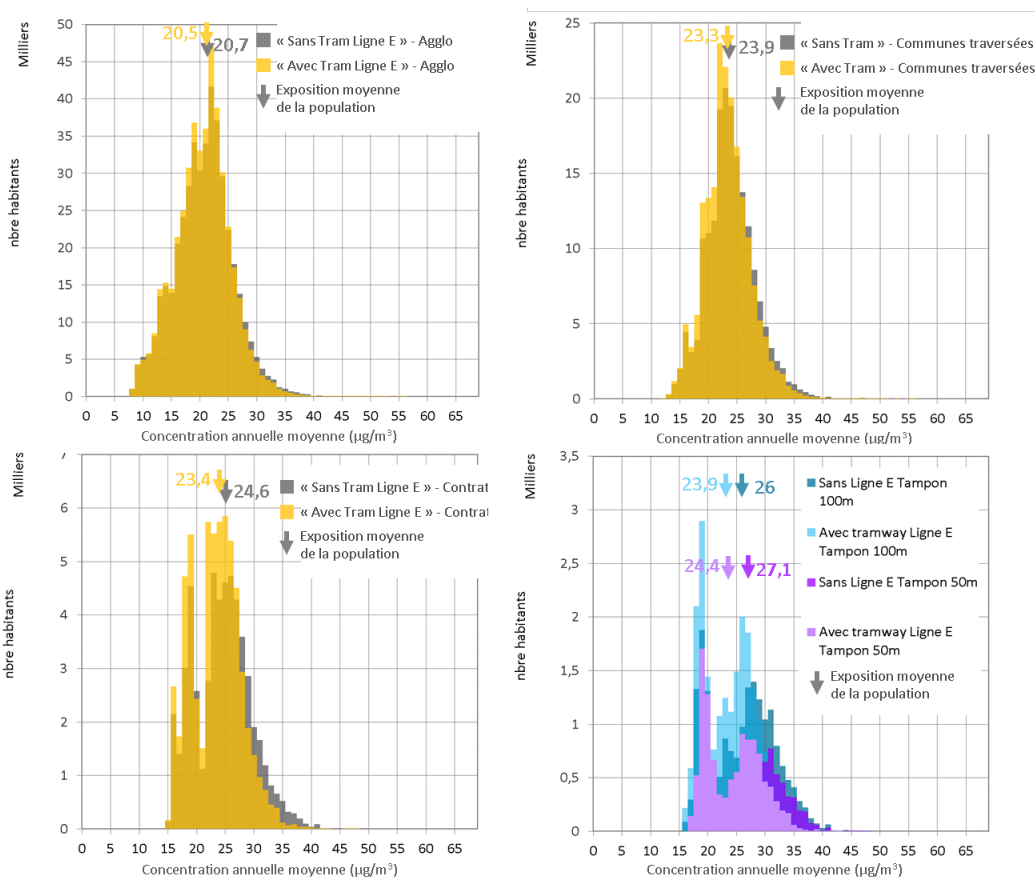
La couleur verte indique une diminution de la concentration entre « Sans Tram Ligne E » et « Avec Tram Ligne E » et la couleur rouge indique une augmentation.

Commentaires :

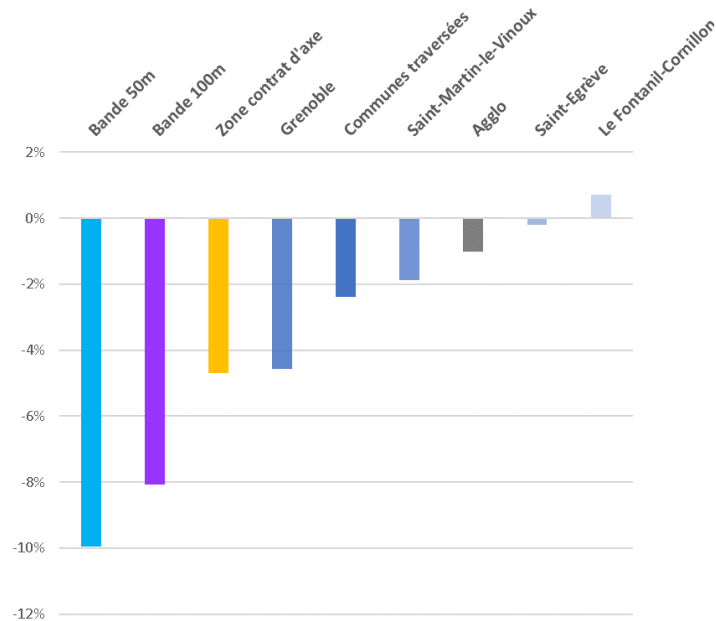
- La mise en service du tramway réduit les concentrations le long des rues qui ont été réaménagées pour accueillir le tram notamment sur le cours Jean Jaurès à Grenoble, et sur la RD 1075 sur la commune de Saint-Martin-le-Vinoux. Une diminution est également observée Quai de France et Quai Perrière.
- Une légère augmentation des concentrations est observée sur le cours de la Libération au sud de la rue des Alliés et sur l'avenue de San Marino à Saint-Egrève.

4.1. Effets de la mise en place du « tram » évalués par modélisation

4.1.2 Analyse de l'exposition moyenne de la population au NO₂



Variation de l'exposition moyenne



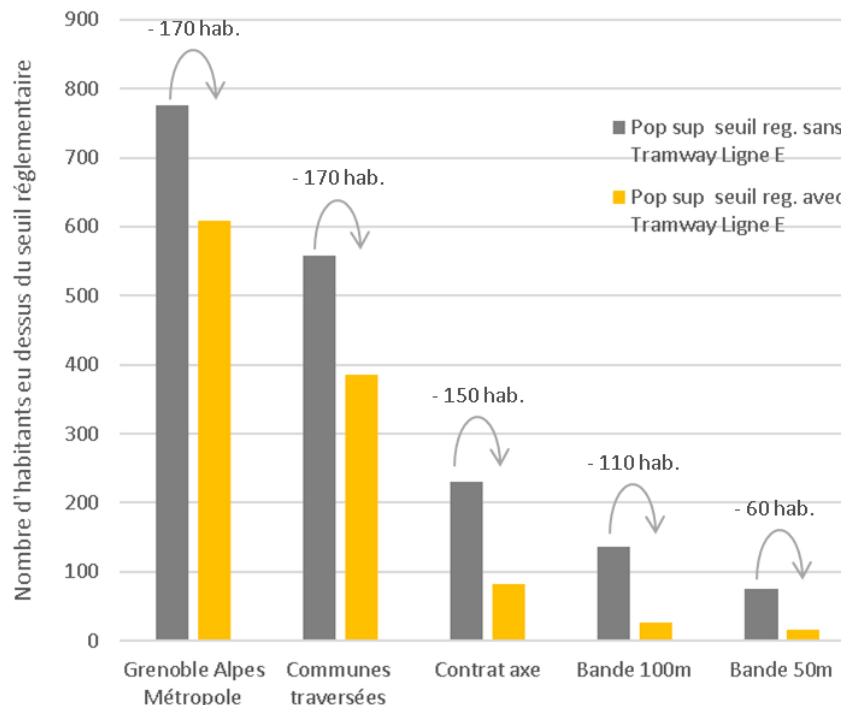
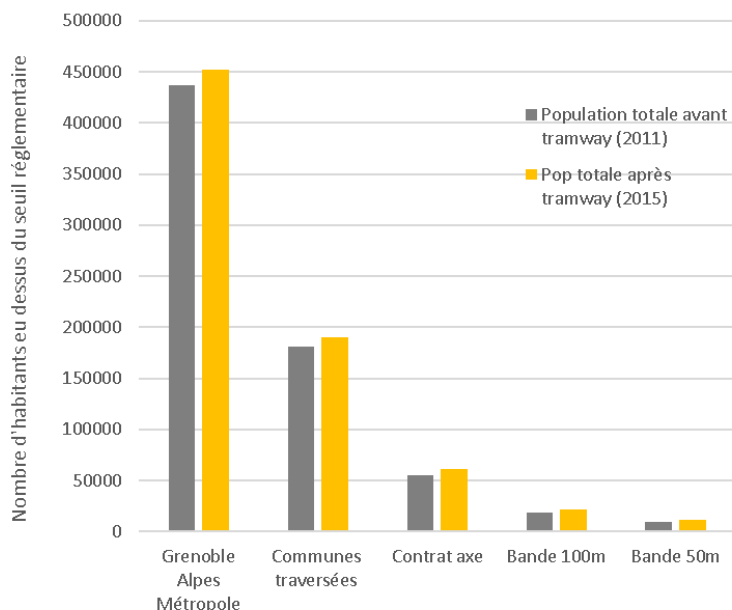
Comparaison de l'exposition de la population au dioxyde d'azote (NO₂) pour les conditions « sans tramway Ligne E » et « avec tramway Ligne E ». A gauche : Distributions de l'exposition sur les différentes zones d'étude ; A droite : Histogramme de la variation de l'exposition moyenne selon les zones

Commentaires :

- La mise en service du tramway permet de réduire l'exposition moyenne sur l'ensemble des zones. Cette réduction atteint 10% dans une bande de 50m autour de l'axe du tramway et 5% sur la zone du contrat d'axe.
- Seule la commune du Fontanil-Cornillon voit son exposition moyenne légèrement augmenter (+ 0,7%).

4.1. Effets de la mise en place du « tram » évalués par modélisation

4.1.3 Analyse de l'exposition au seuil réglementaire de la population au NO₂



Analyse des effets de la mise en place de la ligne de tramway E sur l'exposition au seuil réglementaire de la population au NO₂.

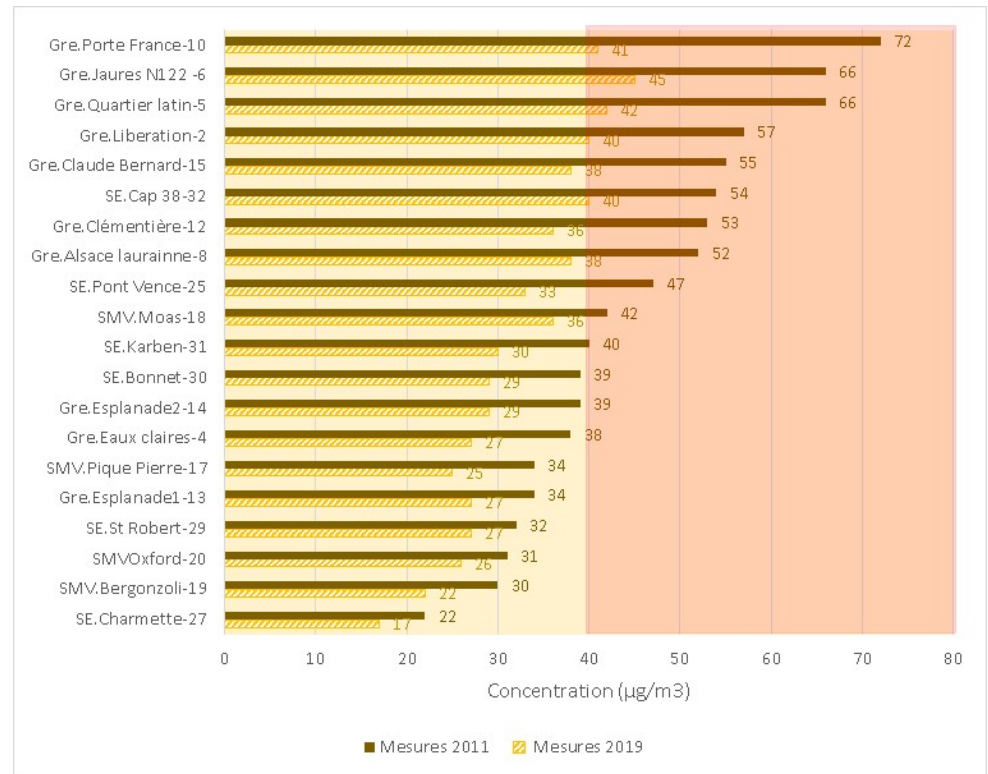
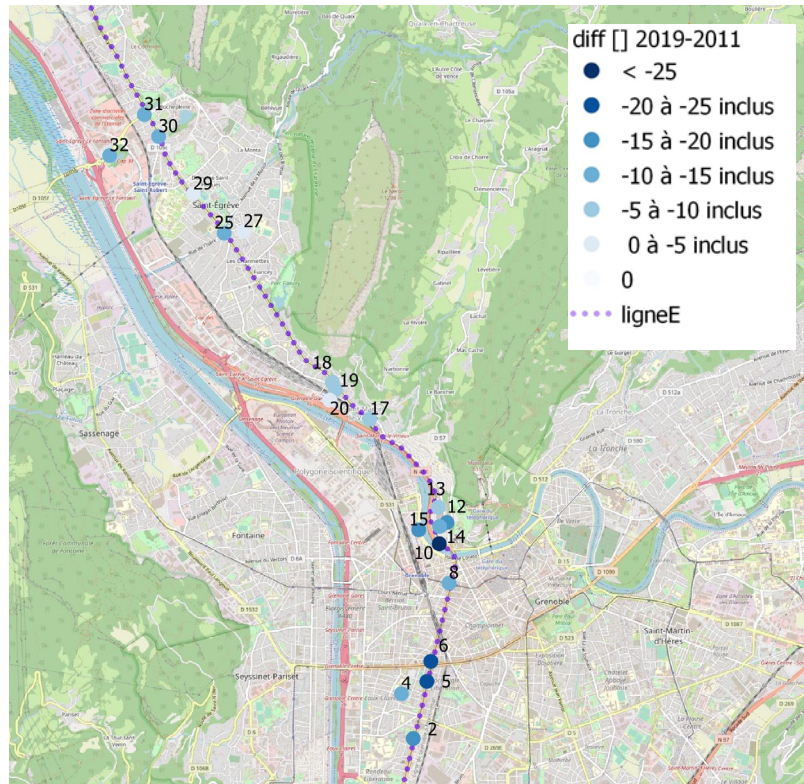
A gauche : Population prise en compte dans les calculs d'exposition avant et après mise en service du tramway

A droite : Nombre d'habitants exposés au-dessus de la valeur limite réglementaire du NO₂ (40 µg/m³ en moyenne annuelle) avec et sans la ligne de tramway E

Commentaires :

- Malgré l'augmentation de la population due à l'urbanisation autour du tramway, la mise en service de la ligne E du tramway permet de réduire de 170 personnes le nombre d'habitants soumis à des concentrations de NO₂ supérieures à la valeur limite réglementaire sur l'ensemble de la Métropole.
- Sur la zone du contrat d'axe, ce sont 150 habitants supplémentaires qui bénéficient d'un air conforme à la valeur réglementaire en présence du tram E.
- Environ un tiers de ces habitants sont situés dans une bande de 50m autour du tracé du tram E.

4.2 Les effets de la mise en place du tram évalués par la mesures

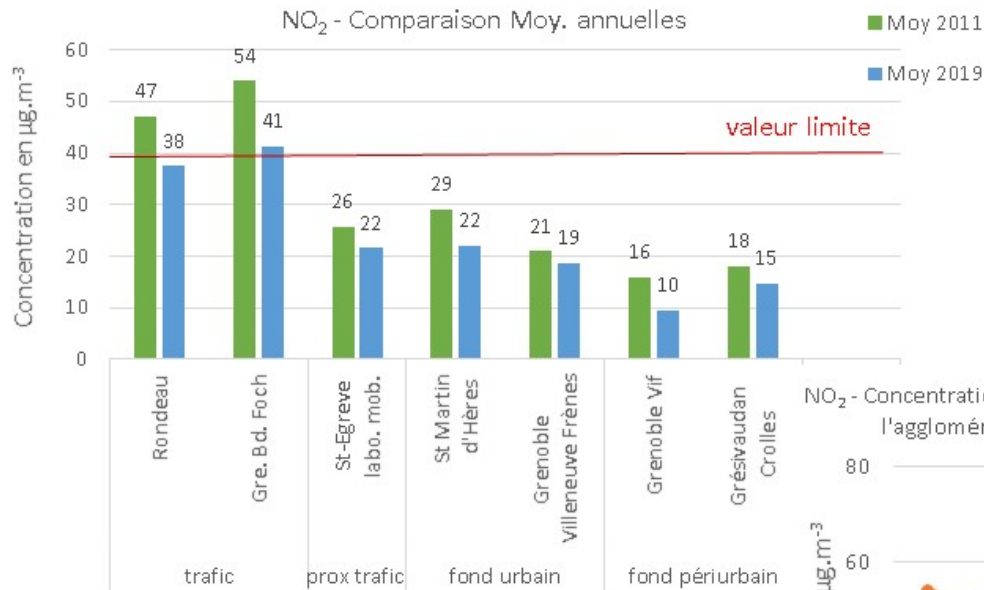


Evaluation par la mesure de la concentration annuelle moyenne de NO₂ dans les conditions « sans tram » (2011) et « avec tram » (2019^a).
 A gauche : écart des concentrations mesurées entre 2011 et 2019 (en µg/m³) à droite : les valeurs numériques de concentration de 2011 et 2019,

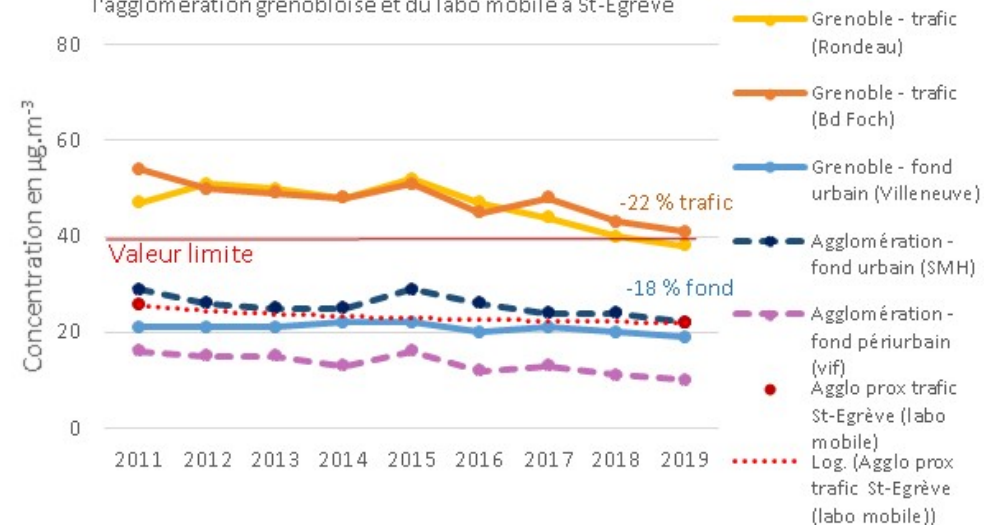
Résumé des commentaires :

- Les effets évalués par la mesure sont globalement cohérents avec l'évaluation basée sur la modélisation.
- Les résultats des mesures réalisées en 2011 (avant tram) et 2019 (après tram) indiquent que la qualité de l'air s'est globalement améliorée sur le tracé de la ligne E, notamment le long du cours Jean Jaurès à Grenoble et de l'esplanade porte de France.

4.2 Les effets de la mise en place du tram évalués par la mesure : laboratoire mobile à St Egrève – Mesures de NO₂

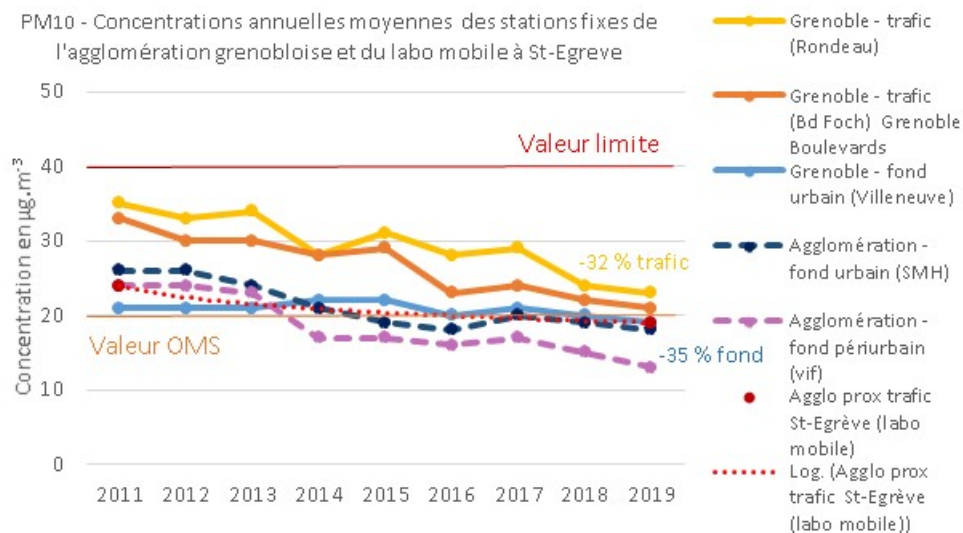
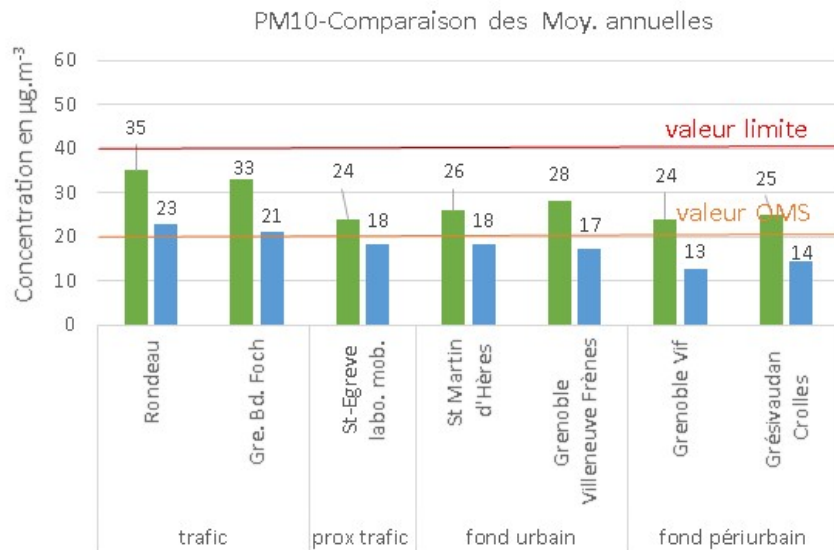


NO₂ - Concentrations annuelles moyennes au niveau des stations fixes de l'agglomération grenobloise et du labo mobile à St-Egrève



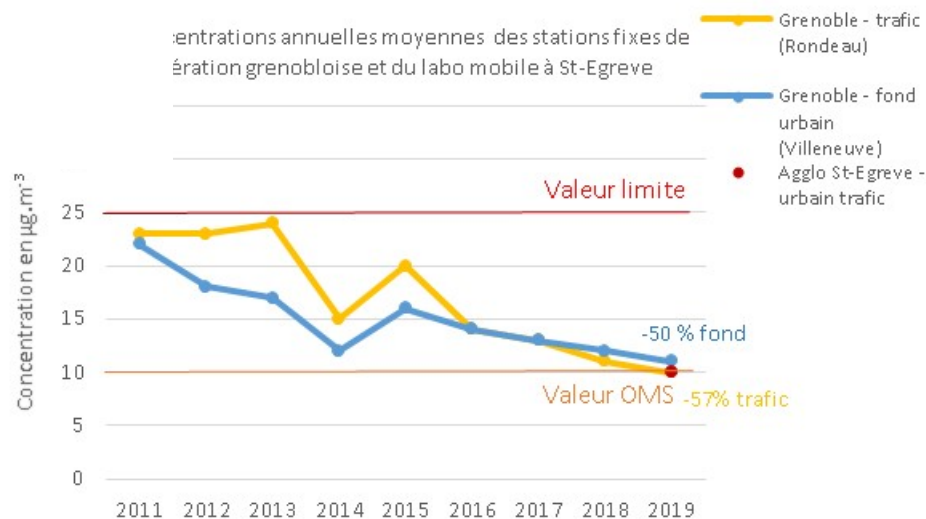
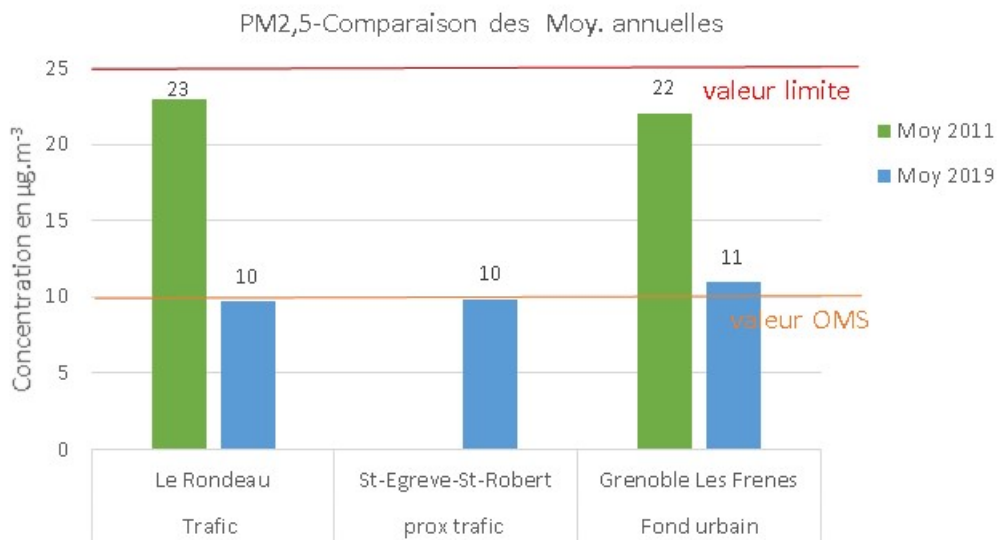
- Comme en 2011, les niveaux moyens en NO₂ mesurés sur le site d'étude à St-Egrève sont équivalents à ceux observés sur les sites urbains de fond de l'agglomération grenobloise, malgré la proximité automobile du site d'étude .
- La diminution des concentrations moyennes de NO₂ entre 2011 et 2019 sur le site d'étude (-15%), est proche de celle observée sur les niveaux de fond urbain .
- Une baisse plus faible du trafic est observée sur la partie du tracé où est implanté le laboratoire mobile (quartier saint Robert à Saint Egrève). Globalement, la baisse de trafic engendrée par la mise en place du tramway, semble se réduire en se rapprochant de l'extrémité nord de la ligne.

4.2 Les effets de la mise en place du tram évalués par la mesure : laboratoire mobile à St Egrève – Mesures de PM10



- Les niveaux moyens en PM10 mesurés sur le site d'étude à St-Egrève sont équivalents à ceux observés sur les sites urbains de fond de l'agglomération grenobloise et respectent la valeur limite annuelle réglementaire de 40 µg.m⁻³.
- La baisse des niveaux de PM10 sur le site d'étude à saint Egrève entre 2011 et 2019 est moins importante (env.20 %) que celle observée sur les sites de fond urbain et de proximité automobile sur la même période. Elle semble donc liée à l'amélioration générale de la qualité de l'air.

4.2 Les effets de la mise en place du tram évalués par la mesure : laboratoire mobile à St Egrève – Mesures de PM_{2,5}



- Le site d'étude à St-Egrève présente des niveaux moyens en PM_{2,5} proches de ceux observés sur les stations fixes de proximité automobile et de fond de Grenoble et respectent la valeur limite annuelle réglementaire de 25 µg.m⁻³ et la valeur OMS de 10 µg.m⁻³. Il n'y a pas eu de mesure de PM_{2,5} réalisées sur le site de St Egrève en 2011 mais compte tenu des niveaux proches des stations de références observés sur ce site en 2019, on peut considérer que les niveaux de PM_{2,5} est suivi la même tendance à la baisse que celle observée sur les stations fixes entre 2011 et 2019.

IV. Synthèse des résultats



Synthèse des résultats et éléments de discussion

Il est difficile de distinguer l'effet spécifique de la ligne E sur la qualité de l'air sur la base exclusive d'une analyse des données de mesure. En effet, d'autres facteurs non liés au tramway tels que la météorologie et l'évolution du parc de véhicules, influencent la qualité de l'air. De ce fait Atmo AURA a réalisé une modélisation qui permet d'isoler l'effet spécifique de la mise en place de la ligne E grâce à la comparaison pour une même année 2018 d'un scénario « avec » et « sans » tram E. Cette modélisation est corroborée par la comparaison du résultat des campagnes de mesure de la qualité de l'air conduites avant / après la mise en service du tram E.

Cette modélisation souligne **que les émissions de CO₂ et d'oxydes d'azote (NOx) liées aux déplacements dans la zone du contrat d'axe, ont diminués de 11%** par rapport à une situation sans tramway E. C'est sur la commune de Grenoble que cette diminution est la plus importante (jusqu'à -14% pour le CO₂ et -12% pour les NOx) alors que sur la commune du Fontanil-Cornillon, cette diminution est beaucoup plus réduite (maximum de -2%), voir même augmente légèrement sur certains axes.

Les émissions de particules diminuent, quant à elles, de 9 à 7 %.

Cette étude a permis de montrer qu'entre 2011 et 2019, **la qualité de l'air s'est globalement améliorée sur le tracé de la ligne E**. Les écarts varient en fonction des polluants et des communes traversées par le tramway. **La baisse la plus notable concerne le dioxyde d'azote (NO₂) sur les secteurs du cours Jean Jaurès et de la porte de France à Grenoble.**

A première vue cette nette amélioration semble directement liée aux aménagements (suppression, réorganisation des voies de circulation) réalisés dans le cadre de la mise en place de cette nouvelle ligne de tramway, puisqu'elle est plus importante que celle observée sur la même période en proximité automobile (site fixe de Grenoble Boulevard).

Il n'en demeure pas moins que **les niveaux de NO₂ restent élevés le long du cours Jean Jaurès, notamment sur le segment reliant la place Hubert Dubedout au cours de la libération** (secteur des alliés). En effet, sur cette partie du tracé, les niveaux en moyenne annuelle pour le NO₂ ne respectent pas la valeur limite (40 µg/m³).

Synthèse des résultats et éléments de discussion

L'amélioration de la qualité de l'air est moins marquée au niveau des autres communes traversées par le tramway. **En effet les niveaux de NO₂ observés sur la partie du tracé entre St Martin le Vinoux et le Fontanil Cornillon ont évolué comme dans le reste de l'agglomération.**

La mise en place du tram E a permis de réduire le nombre de riverains exposés aux dépassements du seuil réglementaire notamment pour le NO₂.

Malgré l'augmentation de la population due à l'urbanisation autour du tramway, la mise en service de la ligne E du tramway permet de réduire de 150 personnes le nombre d'habitants exposés à des concentrations de NO₂ supérieures à la valeur limitée réglementaire sur la zone du contrat d'axe (soit une diminution de 65%).

Pour les PM₁₀, la valeur limite annuelle réglementaire de 40 µg.m⁻³ est respectée depuis plusieurs années au niveau de la métropole grenobloise. Cependant le seuil recommandé par l'OMS (20 µg.m⁻³) est quant à lui encore dépassé notamment sur les stations de proximité trafic.

Pour les PM₁₀, la mise en service de la ligne E du tramway permet de réduire le nombre d'habitants soumis à des concentrations de particules supérieures à la valeur guide sanitaire réglementaire (20 µg.m⁻³) : diminution de 2 800 habitants exposés sur la zone du contrat d'axe, soit de 60%.

L'extension de l'urbanisation autour du tramway a augmenté le nombre de personnes habitant dans des zones où l'on observe des dépassements de la valeur guide sanitaire de l'OMS pour les PM_{2.5} (10 µg.m⁻³). La mise en service du tramway permet toutefois de réduire l'exposition moyenne dans la zone et de limiter l'augmentation du nombre d'habitants soumis à cette valeur au niveau de la Métropole.

Bien que les niveaux de pollution soient moins importants lorsqu'on s'éloigne de Grenoble (communes de St Martin le Vinoux, St-Egrève et du Fontanil Cornillon), il convient toutefois de bien intégrer le volet qualité de l'air dans les projets importants d'urbanisme dans ces secteurs, notamment dans les aspects mobilité et urbanisme.



ANNEXES

ANNEXE 1. Localisation des sites de mesure



N° de site	Nom de site
1	Gre.Louise Michel
2	Gre.Liberation
3	Gre.Alliés
4	Gre.Eaux claires
5	Gre.Quartier latin
6	Gre.Jaures N122
7	Gre.Jaures restojapon
8	Gre.Alsace lorraine
9	Gre.Jaures Bastille
10	Gre.Porte France
11	Gre.Route Lyon
12	Gre.Clémentière
13	Gre.Esplanade1
14	Gre.Esplanade2
15	Gre.Claude Bernard
16	Gre.Clos des Fleurs
17	SMV.Pique Pierre
18	SMV.Moas
19	SMV.Bergonzoli
20	SMVOxford
21	SMV.Horloge
22	SMV.Néron
23	SE.Fiancéy
24	SE.Muret
25	SE.Pont Vence
26	SE.Rue Isère
27	SE.Charmette
28	SE.Ecole Vence
29	SE.St Robert
30	SE.Bonnet
31	SE.Karben
32	SE.Cap 38
33	FO.Palluel

Le dispositif de mesure de la pollution de l'air « avant / après la mise en place de la ligne E Grenoble le Fontanil-Cornillon

ANNEXE 2. Techniques et représentativité des mesures :

La mesure du dioxyde d'azote (NO₂) par échantillonneurs passifs :

Le dispositif de mesure mis en œuvre repose sur un laboratoire mobile équipé avec des analyseurs homologués et sur des sites de mesure répartis le long de la ligne E entre Grenoble et le Fontanil Cornillon (27 en 2011 et 33 en 2019 ; Cf. Annexe 1). Compte tenu du nombre important de sites, la mesure a été réalisée grâce à des échantillonneurs passifs.

- Cette approche métrologique indicative est généralement mobilisée pour réaliser des campagnes de mesure nécessitant d'instrumenter de nombreux sites car elle est facile à déployer à grande échelle et son coût est modéré.
- Les échantillonneurs passifs sont composés de cartouches adsorbantes (triéthanolamine) qui vont piéger le polluant (la quantité de polluant adsorbé est proportionnelle à sa concentration dans l'air ambiant).
- Les échantillonneurs passifs sont implantés « à hauteur d'homme » dans un support qui les abrite des intempéries.
- Les échantillonneurs passifs sont exposés une semaine sur site puis une analyse est réalisée en laboratoire.
- Pour chaque année évaluée, une campagne de mesure de 2 semaines a été réalisée à chacune des 4 saisons. Cet échantillonnage temporel (couvrant plus de 14% de la durée de l'année dans des conditions météorologiques variées) permet d'évaluer la concentration annuelle moyenne¹ (Cf. Guide

Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote, Ademe Editions, Paris ; ADEME, LCSQA, ATMO). En outre, la bonne représentativité temporelle des périodes de mesures a été vérifiée (cf. ci-dessous à droite).

- D'une manière générale, les recommandations du *Guide Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote, Ademe Editions, Paris ; ADEME, LCSQA, ATMO* ont été respectées.
- Les échantillonneurs passifs ont été fournis et analysés par la société PASSAM AG, laboratoire de mesure accrédité EN 45000.

Echantillonneurs passifs pour le NO₂



Echantillonneurs passifs pour le NO₂. A gauche, un échantillonneur passif de marque PASSAM ; au milieu, des échantillonneurs passifs dans leur « boîtier » au cours d'une campagne de mesure ; à droite, un site de mesure équipé

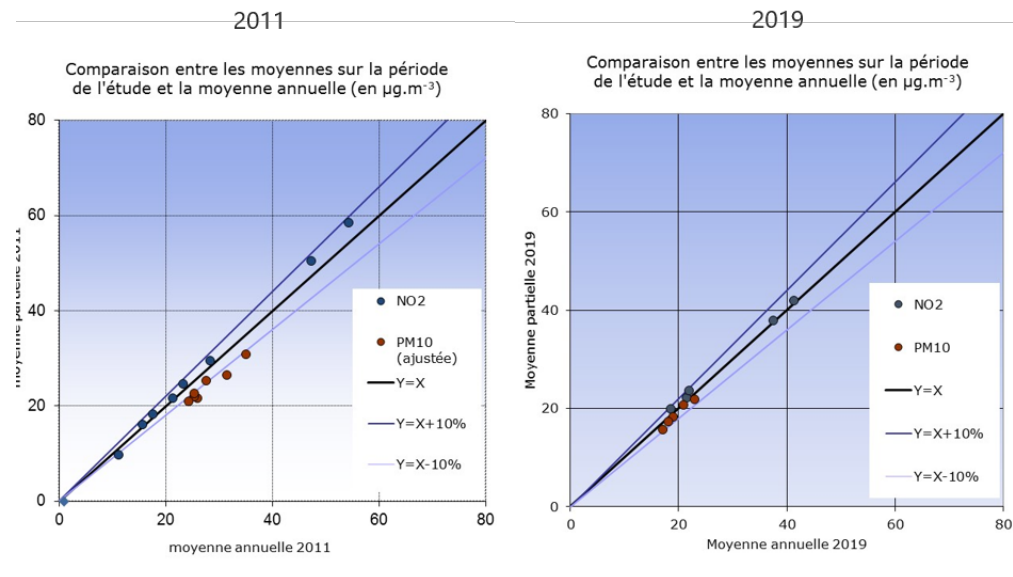
Analyse visant à vérifier la représentativité temporelle des périodes de mesure

ANNEXE 2. Représentativité des mesures

Analyse visant à vérifier la représentativité temporelle des mesures :

- Pour le dioxyde d'azote, les écarts entre la moyenne calculée sur la période de mesures de l'étude et la moyenne calculée sur l'année civile sont faibles en 2011 et 2019. Par conséquent, les mesures peuvent être comparées aux valeurs réglementaires annuelles.
- Pour les particules (PM10) les écarts entre la moyenne calculée sur la période de mesures de l'étude et la moyenne calculée sur l'année civile sont faibles en 2019. Les moyennes des 4 campagnes de mesure en 2011 présentent des valeurs légèrement sous estimées par rapport à la valeur annuelle réelle.

Vérification représentativité temporelle des périodes de mesures

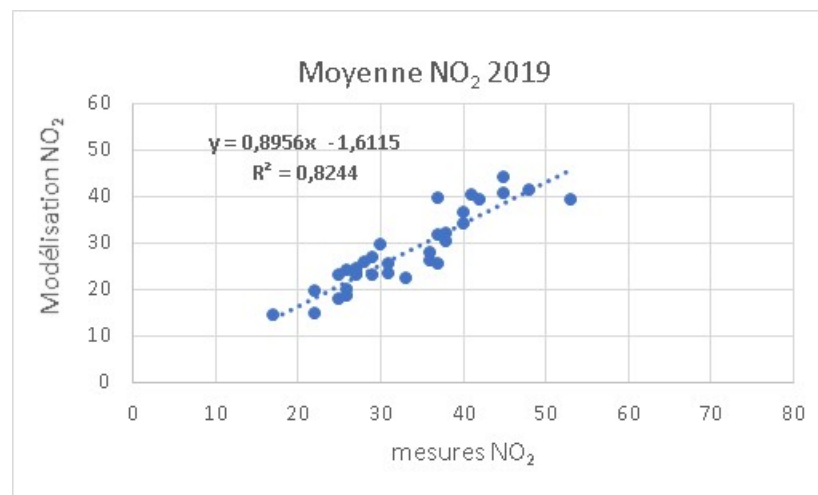
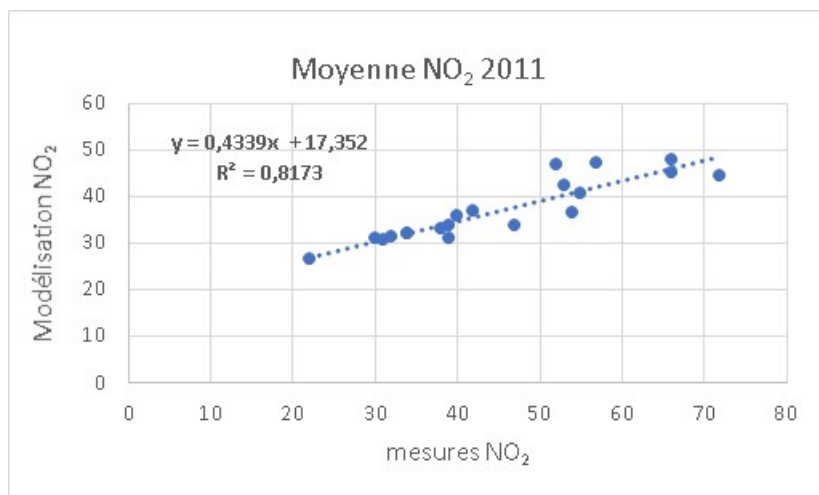


R^2 = coefficient de détermination

ANNEXE 2. Représentativité du modèle

Analyse visant à vérifier la représentativité du modèle par rapport aux mesures :

Les mesures contribuent également au calage du modèle qui permet de cartographier plus finement la zone d'étude. L'évaluation du modèle a été réalisée en confrontant les sorties du modèle aux mesures de terrain. Les graphiques ci-dessous comparent sur les mêmes sites les écarts mesure/modèle pour le dioxyde d'azote en 2011 et 2019,



La modélisation présente une bonne corrélation avec les données mesurées ($R^2 = 0.82$ pour le NO₂ en 2011 et 2019)

R^2 = coefficient de détermination

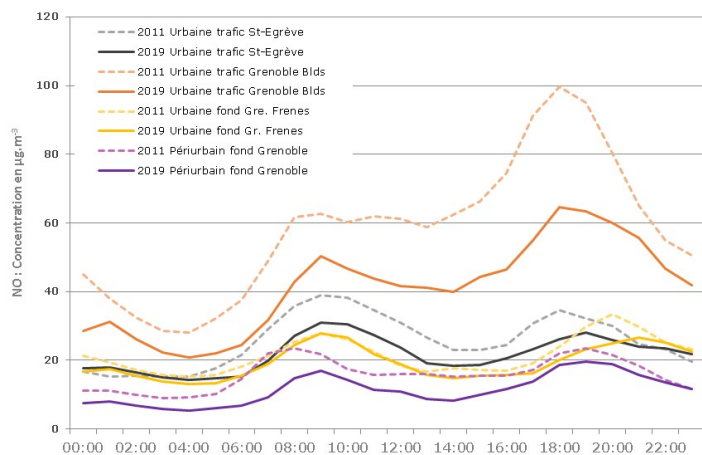
ANNEXE 3. Analyse des profils temporels quotidiens

La mesure du dioxyde d'azote (NO_2) par analyseurs automatiques homologués permet de collecter des données « en continu » et donc d'analyser les variations temporelles fines (contrairement à la mesure par échantillonneurs passifs qui ne permet d'évaluer que des concentrations moyennes sur la durée de la campagne de mesure). En revanche, cette approche métrologique est plus « lourde » à mettre en œuvre (demande notamment de déployer un laboratoire mobile) et ne peut donc être mobilisée que sur un nombre très limité de points.

La figure ci-dessous, présente les profils quotidiens moyens de la concentration de NO_2 mesurée au niveau de quatre stations de mesure de l'agglomération grenobloise en 2011 (« avant Tram E ») et en 2019 (« après tram E »).

Il apparaît que :

- Les profils temporels quotidiens présentent deux pics (matin et soir), traduisant l'influence directe des niveaux de trafic sur la concentration de NO_2 .



Profils quotidiens moyens de la concentration de dioxyde d'azote (NO_2) mesurée au niveau de quatre stations de mesure de l'agglomération grenobloise durant les 4 campagnes en 2011 et en 2019. La station « urbain (St Egreve) » correspond au laboratoire mobile temporairement implanté dans le quartier Saint Robert (Cf. Annexe 1), les trois autres stations appartiennent au [réseau permanent](#) d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

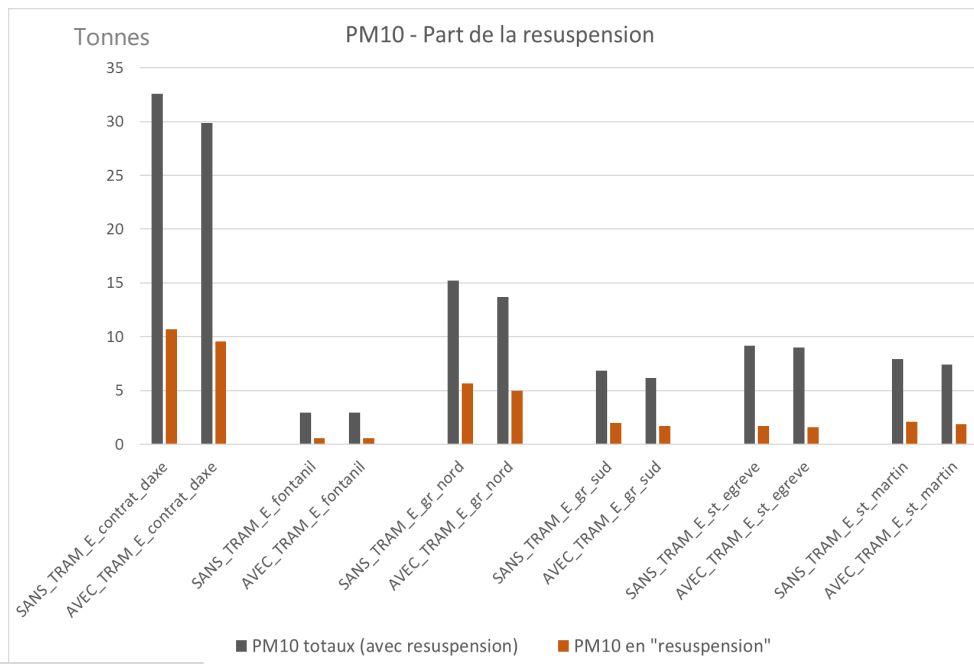
- Le niveau global de NO_2 et l'amplitude des « deux pics » dépendent très fortement de la typologie d'implantation (proximité trafic > fond urbain > fond périurbain). La station temporaire de St-Egrève (en gris) présente un profil assez typique du « fond urbain » (analogue à celui de la station implantée dans le parc de Villeneuve – en jaune) mais avec une influence du trafic un peu plus marquée.
- Au niveau des sites étudiés, les dynamiques temporelles mesurées en 2011 et en 2019 montrent que les niveaux de NO_2 diminuent sensiblement en 2019 sur le site de proximité trafic de Grenoble Boulevard.



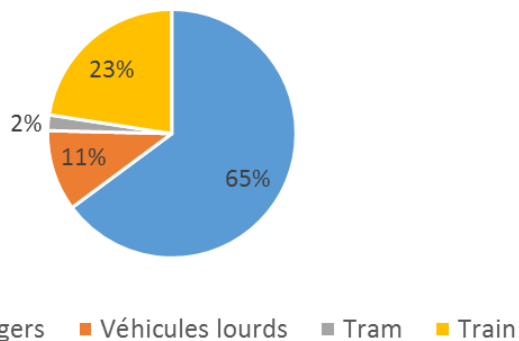
Laboratoire mobile implanté temporairement dans le quartier de St Robert à St Egrève, en situation de proximité trafic

ANNEXE 4. Zoom sur les émissions de PM10

La resuspension correspond à la remise en suspension des poussières présentes sur la route. Elles ont des origines variées (particules d'échappement, sablage/salage, particules naturelles déposées, débris de véhicules, etc...).



Part des types de véhicules dans les émissions PM10 de la zone "contrat d'axe" - AVEC Tram E



2% des émissions de PM10 du secteur des transports sont dues au tram E sur la zone « contrat d'axe ». Elles ont essentiellement pour origine l'usure des freins, des roues, des rails et des caténaires.

Source : ATMO AUVERGNE RHONE ALPES 2020

ANNEXE 5. Description des scénarii modélisés

Description des scénarii « avec » et « sans tram »

Afin d'évaluer l'effet de la mise en service du tramway sur les concentrations de polluants et l'exposition des populations, toutes choses étant égales par ailleurs, et afin de conserver une cohérence avec les cartes de concentrations annuelles et les chiffres d'exposition des populations diffusés pour l'année 2018 sur la métropole grenobloise, un scénario fictif « sans Tram » a été créé.

En effet, le scénario « avec Tram » correspond à la carte réglementaire annuelle 2018 diffusée début 2019.

Les données des modèles de trafic « avec » et « sans tram » transmis par l'AURG ont permis de calculer les émissions du trafic routier pour ces 2 situations.

Couplés aux émissions des autres secteurs, et pour une météo 2018, ils ont permis de réaliser deux scénarios modélisés « V350 sans tram » et « V351 avec tram ». La différence de concentrations entre ces 2 scénarii correspond donc à « l'effet du tram ». Cette contribution a donc été soustraite aux cartes annuelles de concentrations 2018 pour établir le scénario analysé « sans tram ».

Population et Bâti prises en compte dans les calculs d'exposition de la population

« **Sans tram** » population et bâti 2011 desquels nous avons supprimé les constructions mises en chantier dans le fuseau d'intensification du contrat d'axe entre 2010 et 2011 ainsi que la population correspondante.

« **Avec tram** » population et bâti 2015 auxquels ont été ajoutés les constructions mises en chantier entre 2015 et 2018 dans le fuseau d'intensification du contrat d'axe ainsi que les habitants correspondants.

L'identification du bâti réalisé entre 2010 et 2018 dans le fuseau d'intensification a été réalisé par l'AURG sur la base du fichier des opérations de logement mises en chantier, collecté annuellement auprès des communes dans le cadre du suivi du contrat d'axe, complété par l'analyse de photographies aériennes et des relevés de terrain.

ANNEXE 6 (1/5)

Les effets de la mise en place « du tram » sur les particules fines PM_{2,5}

L'étude des effets de la mise en place du tram cible essentiellement le dioxyde d'azote (NO₂) car ce polluant est un « traceur » des trafics routiers. Toutefois, des analyses ont également été réalisées sur les particules en suspension PM_{2.5} (particules fines de diamètre inférieur à 2,5µm). Elles sont présentées dans les quatre pages suivantes.

Elles montrent des effets analogues à ceux décrits pour le NO₂ mais de moindre amplitude. Cela s'explique par le fait que, contrairement à l'exposition au NO₂ qui est essentiellement liée aux émissions des transports routiers, l'exposition aux particules fines dans l'agglomération grenobloise n'est pas majoritairement causée par ce secteur (qui ne représente « que » 17% des émissions de PM_{2,5} sur le territoire métropolitain ; le chauffage au bois individuel non performant est le principal secteur émetteur de particules fines). Ainsi, des variations du trafic routier vont généralement avoir des effets plus marqués sur l'exposition au NO₂ que sur l'exposition aux particules fines.

Analyse des cartes

Les cartes de l'annexe 6 - 3/5 montrent la différence des concentrations entre les scénarii avec et sans tram. La mise en service du tramway réduit très faiblement (maximum de 1 µg/m³) les concentrations le long du Cours Jean Jaurès à Grenoble, de la RD 1075 sur la commune de Saint-Martin-le-Vinoux notamment et sur le Quai de France et le Quai de la Perrière.

Analyse globale de l'exposition de la population aux PM_{2.5}

L'annexe 6 - 4/5 présente les histogrammes de distribution de l'exposition de la population pour les conditions « sans tram » et « avec tram ». Il apparaît que la distribution globale de l'exposition des habitants de la métropole est peu influencée par la mise en service du Tram E.

Toutefois, la mise en service du tramway permet de réduire légèrement l'exposition moyenne sur l'ensemble des zones. Cette réduction atteint 5% dans une bande de 50m autour de l'axe du tramway et 1,5% sur la zone du contrat d'axe. Elle est de moins de 0,5% sur l'agglomération.

L'annexe 6 - 5/5 présente les histogrammes d'exposition des habitants à des concentrations supérieures aux valeurs de référence pour les particules PM_{2.5}.

Il apparaît malgré l'augmentation de la population due notamment à l'extension de l'urbanisation autour du tramway que la mise en service de la ligne E du tramway permet de limiter l'augmentation du nombre d'habitants soumis à des concentrations de particules PM_{2.5} supérieures à la valeur guide sanitaire réglementaire sur l'ensemble de la métropole. La proportion du nombre d'habitants exposés en plus est bien inférieure à la proportion de nouveaux habitants dans cette zone.

ANNEXE 6 (2/5) : analyse des effets du tram sur les particules fines PM2.5

Situation « sans Tram »

« Sans Tramway Ligne E » - Modélisation – Particules PM2.5– Conc. annuelle moyenne

Cartographie

Exposition de la population



Exposition de la population aux particules PM2.5 dans la situation « sans tramway Ligne E ». A gauche : carte de la concentration annuelle moyenne de PM2.5 dans la situation « sans Ligne E » établie par modélisation numérique à l'échelle de l'agglomération et des quatre communes traversées par la ligne E; à droite : histogramme de distribution de l'exposition de la population à l'échelle de l'agglomération (en gris) et des communes traversées (en bleu). Les valeurs indiquées sous le graphique correspondent à la part de la population en pourcent (et au nombre d'habitants) exposés à des concentrations de PM2.5 supérieures (à droite) à la valeur limite, comprise entre la valeur guide sanitaire et la valeur limite (au centre) et inférieures (à gauche) à la valeur guide sanitaire (OMS).

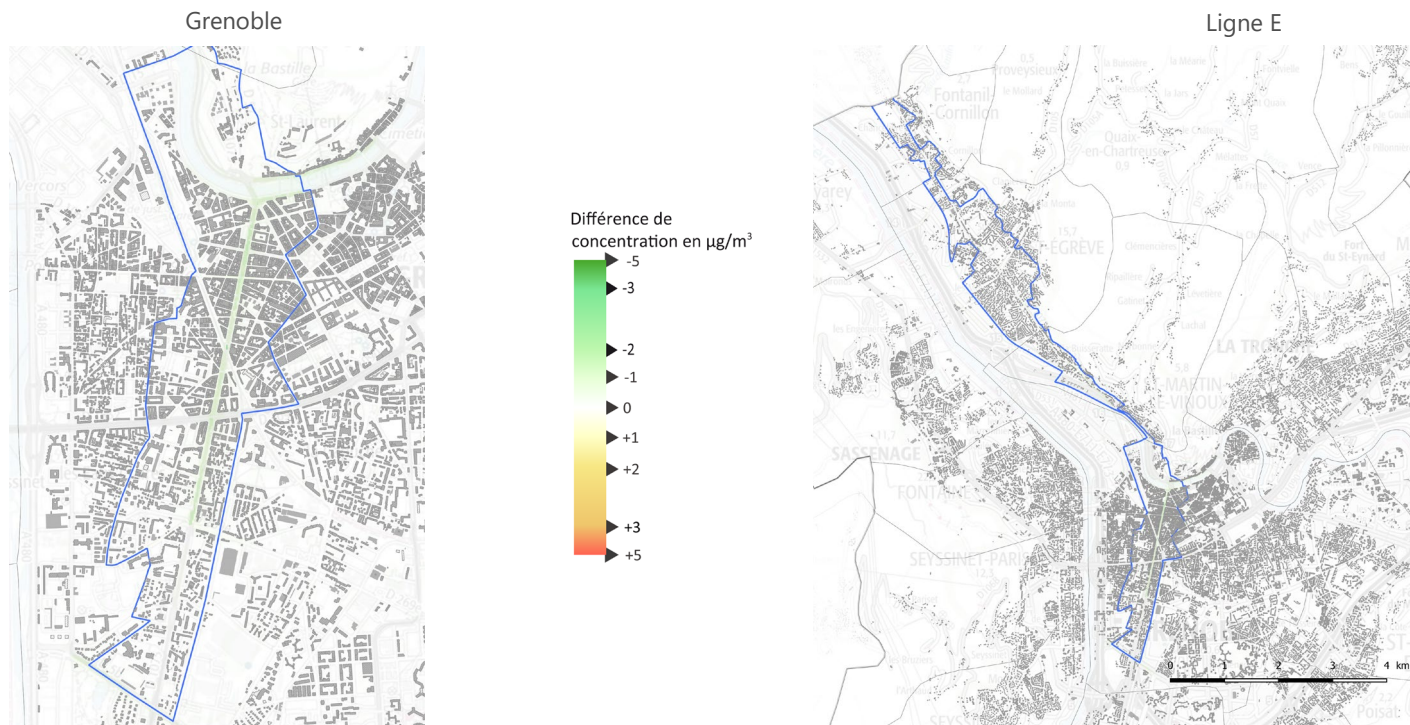
Commentaire succinct

- Les zones de proximité autoroutière sont les plus fortement exposées aux particules PM2.5.
- Le cœur de l'agglomération de Grenoble est une zone à enjeu sanitaire en matière d'exposition aux particules PM2.5.
- L'exposition moyenne de la population à l'échelle de la métropole est de 11,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (11,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les communes traversées), valeur supérieure à la valeur guide sanitaire de l'OMS fixée à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Aucun habitant de la métropole n'est exposé à un dépassement de la valeur réglementaire pour les PM2.5 mais 374 000 habitants (dont 171 800 dans les communes traversées) sont soumis à des concentrations supérieures à la valeur guide sanitaire.

ANNEXE 6 (3/5) : analyse des effets du tram sur les particules fines PM2.5

Effets du Tram sur les concentrations

« Evolution de la concentration de PM2.5 en moyenne annuelle entre la situation "sans tram ni contrat d'axe" et la situation "avec tram et contrat d'axe".



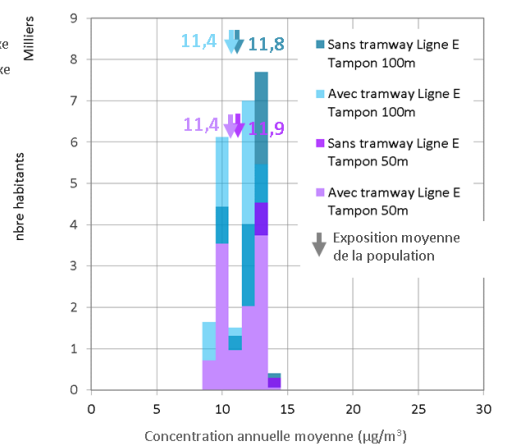
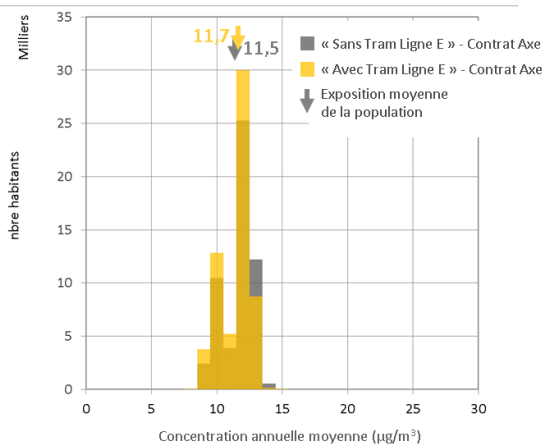
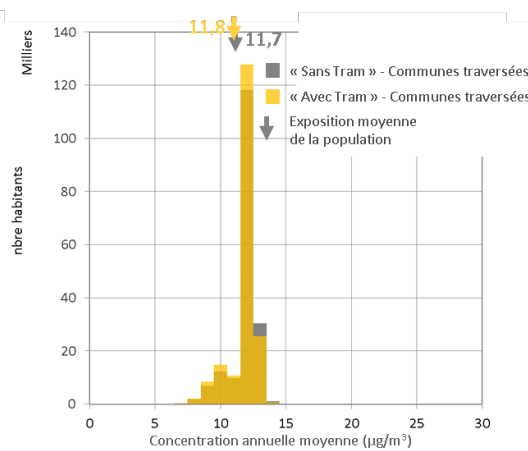
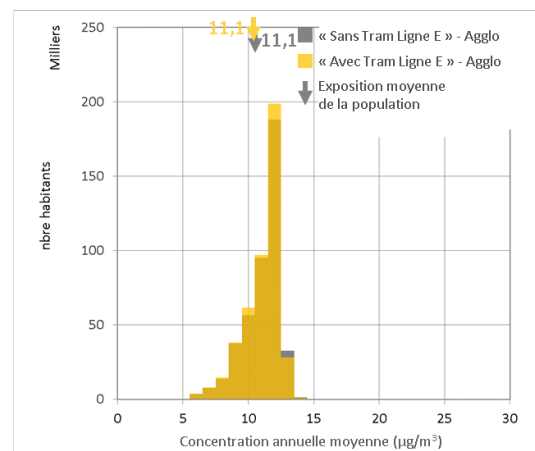
Cartes de différence de concentration annuelle moyenne de PM2.5 établies par modélisation numérique à l'échelle de l'agglomération. La couleur verte indique une diminution de la concentration entre « sans tram Ligne E » et « avec tram Ligne E » et la couleur rouge indique une augmentation.

Commentaire

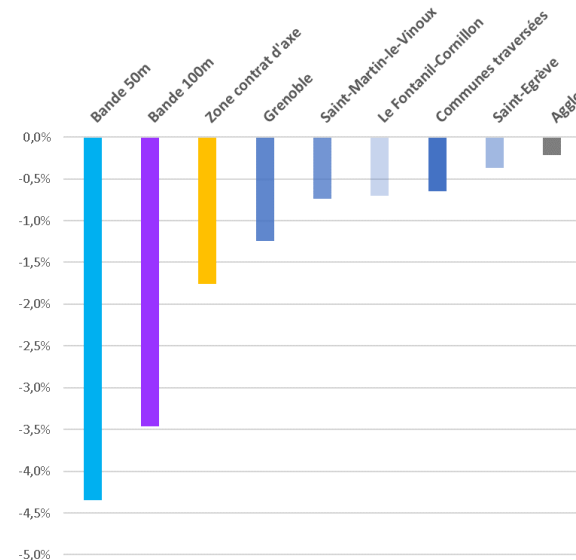
- La mise en service du tramway réduit très faiblement (max. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) les concentrations le long du Cours Jean Jaurès à Grenoble, de la RD 1075 sur la commune de Saint-Martin-le-Vinoux notamment et sur le Quai de France et le Quai de la Perrière.

ANNEXE 6 (4/5) : analyse des effets du tram sur les particules fines PM2.5

Analyse sur l'exposition moyenne de la population



Variation de l'exposition moyenne



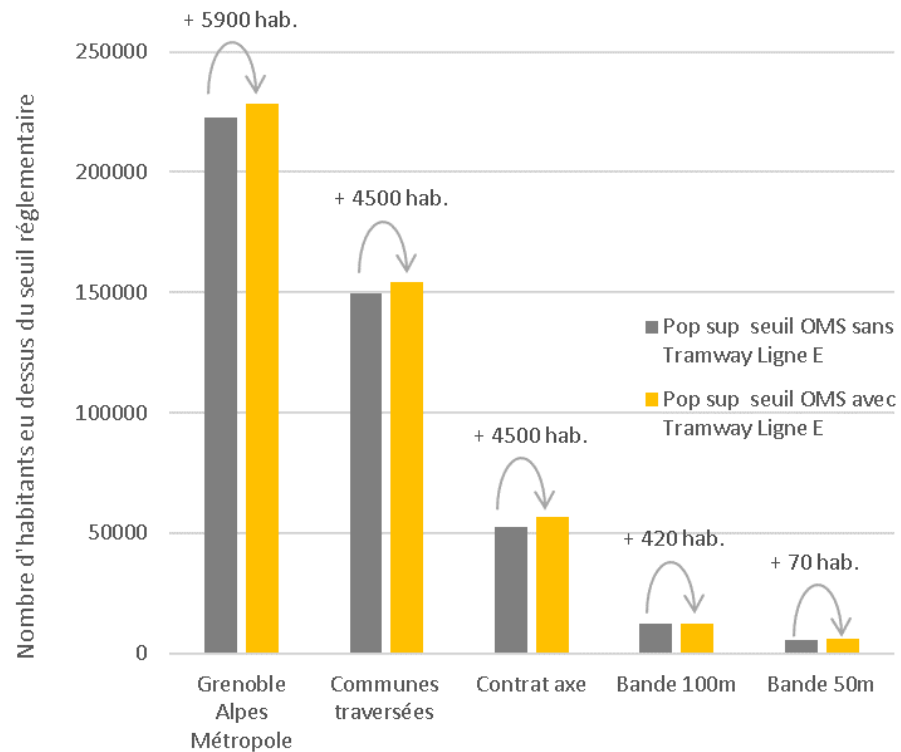
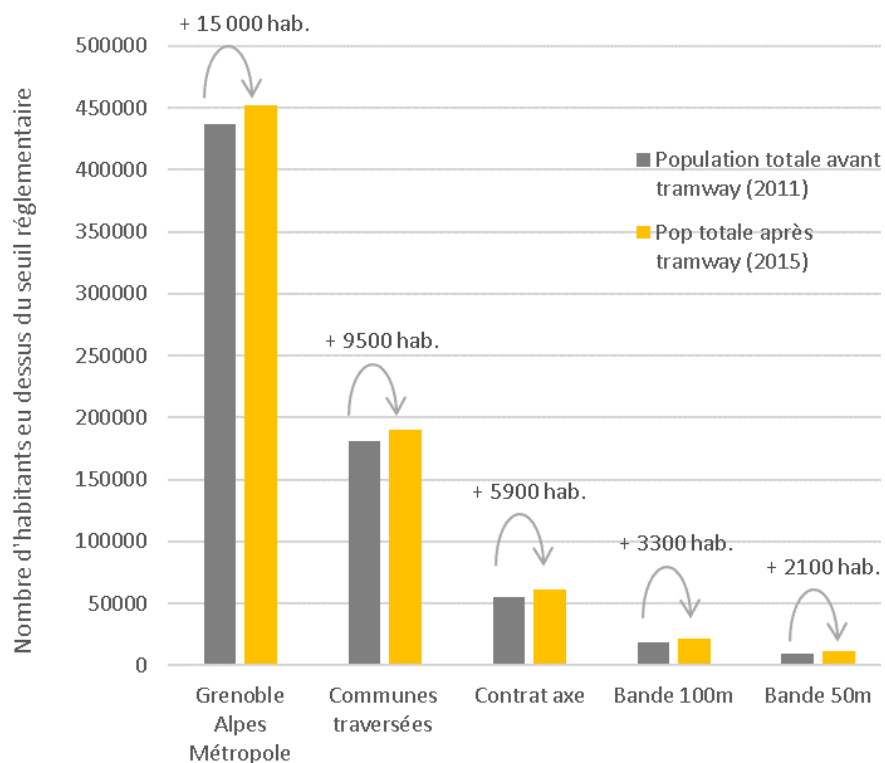
Comparaison de l'exposition de la population aux particules PM2.5 pour les conditions « sans tramway Ligne E » et « avec tramway Ligne E ».
A gauche : Distributions de l'exposition sur les différentes zones d'étude ; A droite : Histogramme de la variation de l'exposition moyenne selon les zones

Commentaire

- La mise en service du tramway permet de réduire légèrement l'exposition moyenne sur l'ensemble des zones. Cette réduction atteint 5% dans une bande de 50m autour de l'axe du tramway et 1,5% sur la zone du Contrat d'axe. Elle est de moins de 0,5% sur l'agglomération.

ANNEXE 6 (5/5) : analyse des effets du tram sur les particules fines PM2.5

Analyse sur l'exposition de la population aux seuils de référence



Analyse des effets de la mise en place de la ligne de tramway E sur l'exposition au seuil réglementaire de la population aux particules PM2.5
 . A gauche : Population prise en compte dans les calculs d'exposition avant et après mise en service du tramway – A droite : Nombre d'habitants exposés au-dessus de la valeur guide sanitaire (OMS) pour les particules PM2.5 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle) avec et sans la ligne de tramway E

Commentaire

- L'extension de l'urbanisation autour du tramway a entraîné l'arrivée de nouveaux habitants dans une zone où l'on observe des dépassements du seuil OMS pour les PM2.5. Néanmoins la mise en place du tramway a permis de faire diminuer l'exposition moyenne et ainsi limite la proportion d'habitants exposés : Dans un rayon de 50 m, la mise en place du tramway permet de passer de 64% sans tram E à 53% avec tram E, dans une bande de 100 m on passe de 66% sans tram à 58% avec tram.
- La mise en service de la ligne E du tramway permet de limiter l'augmentation du nombre d'habitants soumis à des concentrations de particules PM2.5 supérieures à la valeur guide sanitaire réglementaire sur l'ensemble de la Métropole. Un nombre important d'habitants reste néanmoins exposé à ce seuil sur la Métropole.

ANNEXE 7 (1/5)

Les effets de la mise en place « tram » sur les particules fines PM10

L'étude des effets de la mise en place du tram cible essentiellement le dioxyde d'azote (NO₂) car ce polluant est un « traceur » des transports routiers. Toutefois, des analyses ont également été réalisées sur les particules en suspension PM10 (particules fines de de diamètre inférieur à 10 µm). Elles sont présentées dans les quatre pages suivantes.

Elles montrent des effets analogues à ceux décrits pour le NO₂ mais de moindre amplitude. Cela s'explique par le fait que, contrairement à l'exposition au NO₂ qui est essentiellement liée aux émissions des transports routiers, l'exposition aux particules fines dans l'agglomération grenobloise n'est pas majoritairement causée par ce secteur (qui ne représente « que » 19% des émissions de PM10 sur le territoire métropolitain ; le chauffage au bois individuel non performant est le principal secteur émetteur de particules fines). Ainsi, des variations du trafic routier vont généralement avoir des effets plus marqués sur l'exposition au NO₂ que sur l'exposition aux particules fines.

Analyse des cartes

Les cartes de l'annexe 7 - 3/5 montrent la différence des concentrations entre les scénarii avec et sans tram. La mise en service du tramway réduit faiblement (-2 µg/m³) les concentrations le long du Cours Jean Jaurès à Grenoble, de la RD 1075 sur la commune de Saint-Martin-le-Vinoux notamment et sur le Quai de France et le Quai de la Perrière.

Analyse globale de l'exposition de la population aux PM10

L'annexe 7 - 4/5 présente les histogrammes de distribution de l'exposition de la population pour les conditions « sans tram » et « avec tram ». Il apparaît que la distribution globale de l'exposition des habitants de la métropole est peu influencée par la mise en service du Tram E.

Toutefois, la mise en service du tramway permet de réduire légèrement l'exposition moyenne sur l'ensemble des zones. Cette réduction atteint 3,5% dans une bande de 50m autour de l'axe du tramway et 1,5% sur la zone du contrat d'axe. Elle est de moins de 0,5% sur l'agglomération.

L'annexe 7 - 5/5 présente les histogrammes d'exposition des habitants à des concentrations supérieures aux valeurs de référence pour les particules PM10.

Il apparaît malgré l'augmentation de la population due notamment à l'extension de l'urbanisation autour du tramway, la mise en service de la ligne E du tramway permet de réduire le nombre d'habitants soumis à des concentrations de particules PM10 supérieures à la valeur guide sanitaire réglementaire sur l'ensemble de la métropole.

ANNEXE 7 (2/5) : analyse des effets du tram sur les particules fines PM10

Situation « sans tram »

« Sans Tramway Ligne E » - Modélisation – Particules PM10 – Conc. annuelle moyenne

Cartographie

Exposition de la population



Exposition de la population aux particules PM10 dans la situation « sans tramway Ligne E ». A gauche : carte de la concentration annuelle moyenne de PM10 dans la situation « sans tram Ligne E » établie par modélisation numérique à l'échelle de l'agglomération et des quatre communes traversées par la ligne E; à droite : histogramme de distribution de l'exposition de la population à l'échelle de l'agglomération (en gris) et des communes traversées (en bleu). Les valeurs indiquées sous le graphique correspondent à la part de la population en pourcent (et au nombre d'habitants) exposés à des concentrations de PM10 supérieures (à droite) à la valeur limite, comprise entre la valeur guide sanitaire et la valeur limite (au centre) et inférieures (à gauche) à la valeur guide sanitaire (OMS).

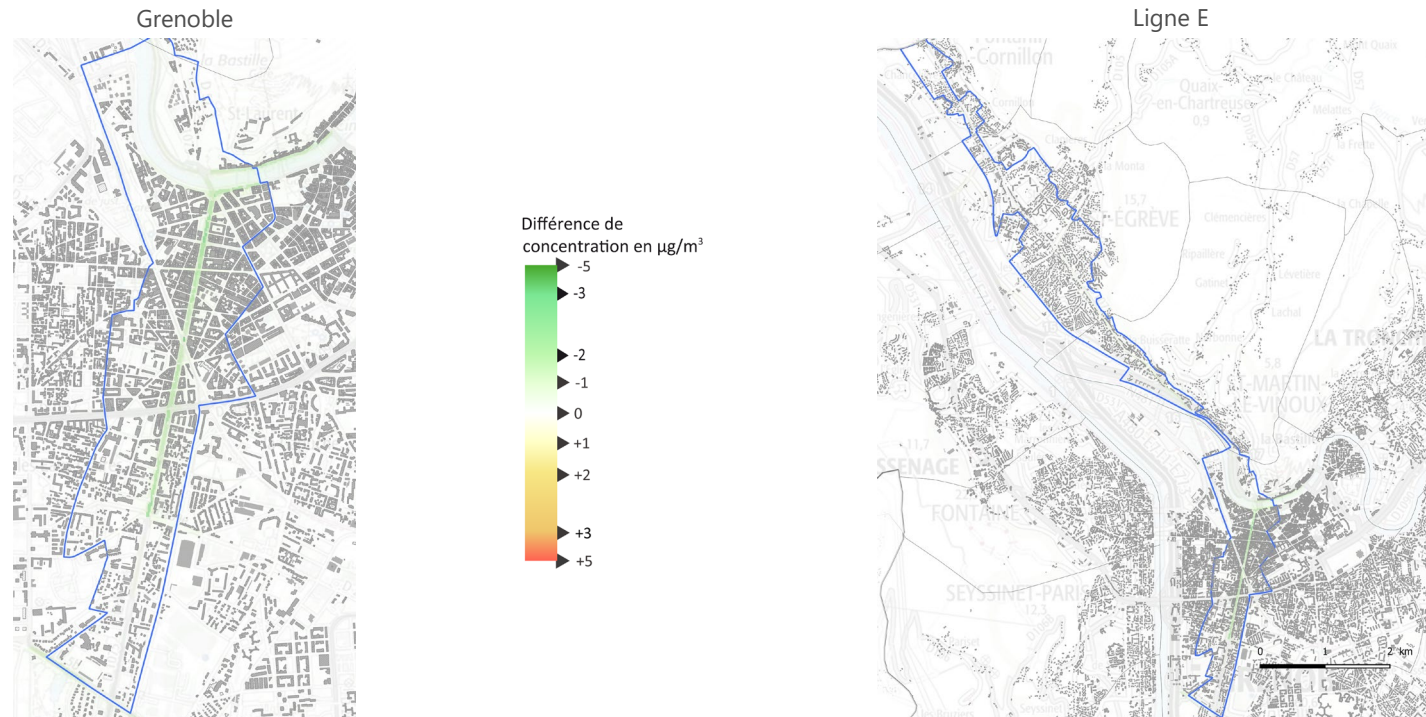
Commentaire succinct

- Les zones de proximité autoroutière sont les plus fortement exposées aux particules PM10.
- Le cœur de l'agglomération de Grenoble est une zone à enjeu sanitaire en matière d'exposition aux particules PM10 sur les zones les plus urbanisées et aux abords des axes routiers importants.
- L'exposition moyenne de la population à l'échelle de la métropole est de $17,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($18,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les communes traversées), valeur inférieure à la valeur guide sanitaire de l'OMS fixée à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Aucun habitant de la métropole n'est exposé à un dépassement de la valeur réglementaire pour les PM10 mais 12 400 habitants (dont 10 400 dans les communes traversées) sont soumis à des concentrations supérieures à la valeur guide sanitaire.

ANNEXE 7 (3/5) : analyse des effets du tram sur les particules fines PM10

Effets du tram sur les concentrations

« Evolution de la concentration de PM10 en moyenne annuelle entre la situation "sans tram ni contrat d'axe" et la situation "avec tram et contrat d'axe".



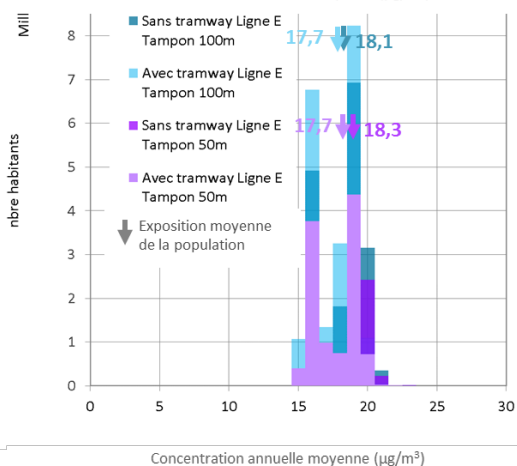
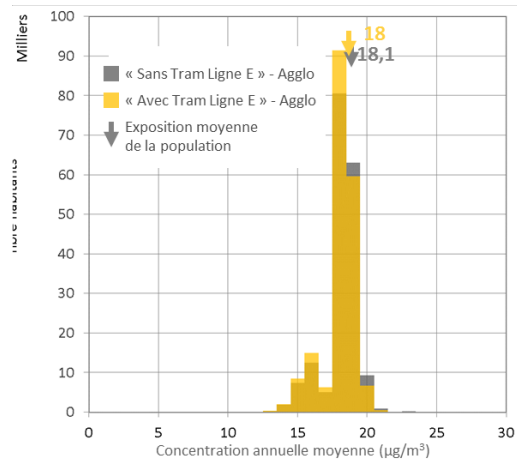
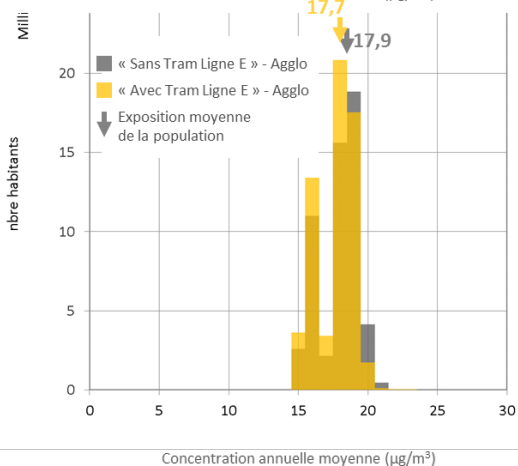
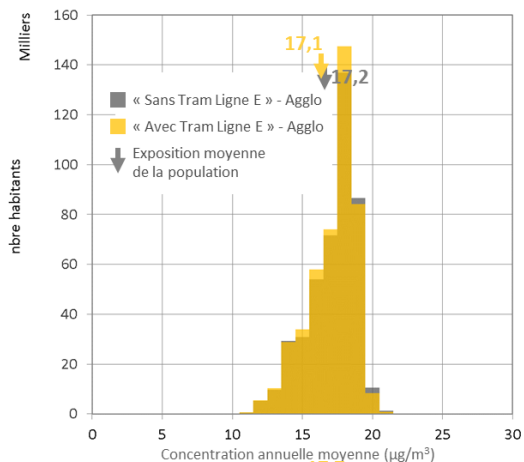
Cartes de différence de concentration annuelle moyenne de PM10 établies par modélisation numérique à l'échelle de l'agglomération. La couleur verte indique une diminution de la concentration entre « sans tram Ligne E » et « avec tram Ligne E » et la couleur rouge indique une augmentation.

Commentaire

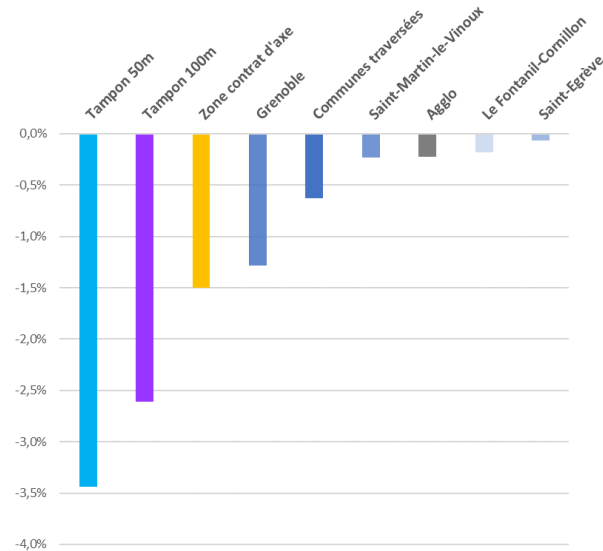
- La mise en service du tramway réduit faiblement ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) les concentrations en PM10 le long du Cours Jean Jaurès à Grenoble, de la RD 1075 sur la commune de Saint-Martin-le-Vinoux notamment et sur le Quai de France et le Quai de la Perrière .

ANNEXE 7 (4/5) : analyse des effets du tram sur les particules fines PM10

Analyse sur l'exposition moyenne de la population



Variation de l'exposition moyenne



Comparaison de l'exposition de la population aux particules PM10 pour les conditions « sans tram Ligne E » et « avec tram Ligne E ».

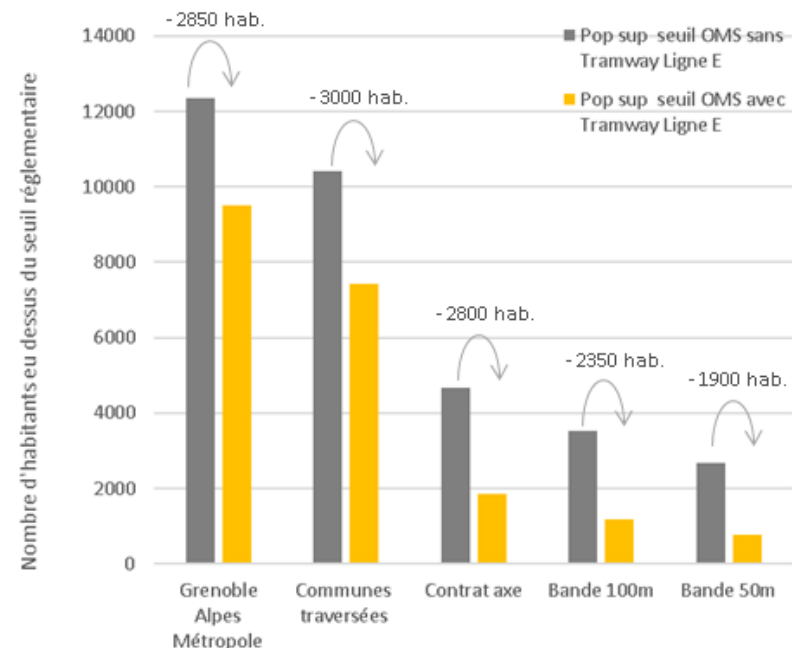
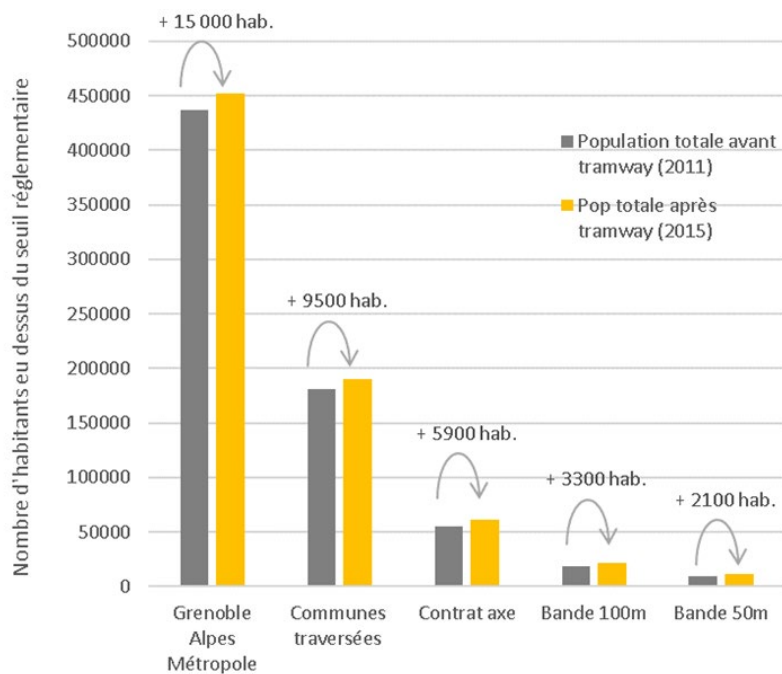
A gauche : Distributions de l'exposition sur les différentes zones d'étude ; A droite : Histogramme de la variation de l'exposition moyenne selon les zones

Commentaire

- La mise en service du tramway permet de réduire légèrement l'exposition moyenne aux PM10, sur l'ensemble des zones. Cette réduction atteint 3,5% dans une bande de 50m autour de l'axe du tramway et 1,5% sur la zone du contrat d'axe. Elle est de moins de 0,5% sur l'agglomération.

ANNEXE 7 (5/5) : analyse des effets du tram sur les particules fines PM10

Analyse sur l'exposition de la population aux seuils de référence



Analyse des effets de la mise en place de la ligne de tram E sur l'exposition au seuil réglementaire de la population aux particules PM10 . A gauche : Population prise en compte dans les calculs d'exposition avant et après mise en service du tramway – A droite : Nombre d'habitants exposés au-dessus de la valeur guide sanitaire (OMS) pour les particules PM10 (20 µg/m³ en moyenne annuelle) avec et sans la ligne de tramway E

Commentaire

- Malgré l'augmentation de la population due notamment à l'extension de l'urbanisation autour du tramway, la mise en service de la ligne E du tramway permet de réduire le nombre d'habitants soumis à des concentrations de particules PM10 supérieures à la valeur guide sanitaire réglementaire sur l'ensemble de la Métropole.