

Suivi de la qualité de l'air au niveau des merlons végétalisés en bordure d'autoroute - Saint-Aunès

Rapport annuel 2024

ETU-2024-223 Edition Août 2025



CONDITIONS DE DIFFUSION

Atmo Occitanie, est une association de type loi 1901 agréée (décret 98-361 du 6 mai 1998) pour assurer la surveillance de la qualité de l'air sur le territoire de la région Occitanie. Atmo Occitanie est adhérent de la Fédération Atmo France.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'État français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Atmo Occitanie met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur le site :

www.atmo-occitanie.org

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Occitanie.

Toute utilisation partielle ou totale de données ou d'un document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit obligatoirement faire référence à **Atmo Occitanie**.

Les données ne sont pas systématiquement rediffusées lors d'actualisations ultérieures à la date initiale de diffusion.

Par ailleurs, **Atmo Occitanie** n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec **Atmo Occitanie** par mail :

contact@atmo-occitanie.org

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	4
1.1. CONTEXTE	4
1.2. OBJECTIFS.....	5
2. DISPOSITIF D'ÉVALUATION	6
2.1. MOYENS D'ÉVALUATION.....	6
2.2. LOCALISATION DES SITES ETUDIÉS EN 2024.....	11
3. CONCENTRATIONS EN NO₂	12
3.1. SUIVI DES CONCENTRATIONS EN NO ₂ EN 2024.....	12
3.1.1. Comparaison au seuil réglementaire.....	12
3.1.2. Variations spatiales	14
3.2. EFFETS DES MERLONS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR	15
3.2.1. Dispersion du NO ₂ au niveau des merlons	15
3.2.2. Concentrations en NO ₂ au niveau des merlons.....	24
3.3. ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN NO ₂ DEPUIS LE DÉBUT DES MESURES.....	25
4. CONCENTRATIONS EN PARTICULES FINES	27
4.1. SUIVI DES CONCENTRATIONS EN PARTICULES FINES EN 2024.....	27
4.2. EFFETS DES MERLONS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR	29
4.2.1. Concentrations en particules fines au niveau des merlons	29
4.3. ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN PARTICULES DEPUIS LE DÉBUT DES MESURES.....	32
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	34
TABLE DES ANNEXES	36

SYNTHESE

Evolution des concentrations par rapport aux années précédentes

Des concentrations en dioxyde d'azote en baisse depuis la crise sanitaire de 2020

Par rapport à 2019, les concentrations annuelles en NO₂ ont diminué en moyenne d'environ 30%. Sur certains sites les concentrations ont été divisées par 2 depuis 2019. Les émissions issues du secteur du transport routier ont également diminué sur la même période d'environ 25%. Le renouvellement du parc automobile et les nouvelles normes de restrictions des émissions de véhicules contribuent à cette baisse. Le trafic qui avait diminué en 2020 avec la crise sanitaire a retrouvé son niveau de 2019.

Une influence limitée des émissions locales de particules venant du trafic de l'autoroute sur les concentrations mesurées

Les concentrations en particules fines en suspension qui ont des sources multiples (chauffage résidentiel, transports, industries et apport de particules sur de longues distances d'origine agricole, désertiques ou encore maritime) sont influencées par la météorologie et la variabilité des flux d'émissions. Comme les années précédentes, les concentrations en particules mesurées dans l'environnement de l'autoroute A9/A709 ont été variables avec une influence limitée du trafic routier de l'autoroute.

Comme sur le reste de la région, au regard du caractère multi sources des émissions de particules dans l'air ambiant (PM_{2.5} et PM₁₀), aucune tendance claire n'est en effet visible sur les différentes périodes de mesures.

L'influence d'autres sources d'émissions sur les concentrations en particules dans l'air est confirmée comme la combustion de biomasse en période hivernale et l'apport externe de particules notamment par vent de Sud (apport de particules désertiques).

Influence de l'autoroute sur les concentrations en dioxyde d'azote

Une zone influencée par la proximité de l'autoroute

Le trafic routier est, sur la commune de Saint-Aunès, le principal émetteur d'oxydes d'azote NO_x, de particules en suspension PM₁₀ et particules fines PM_{2,5} avec respectivement 95%, 57% et 56% des émissions.

A proximité immédiate de l'autoroute A9/A709, sur les sites dans l'emprise de l'autoroute, les concentrations en NO₂ sont corrélées avec l'intensité du trafic de l'autoroute indépendamment des conditions météorologiques. Cette nouvelle campagne de mesure confirme l'influence des émissions du trafic routier sur les concentrations en NO₂ au plus près des axes routiers. Toutefois cette influence se limite à une bande restreinte de quelques dizaines de mètres de part et d'autre de l'autoroute du fait des merlons et des murs anti-bruits.

En 2024, sur l'ensemble des sites étudiés, un seul site à proximité immédiate des voies de l'autoroute (intérieur enceinte ASF, sens Lyon-Montpellier) ne devrait pas respecter la valeur limite pour la protection de la santé pour le dioxyde d'azote. La cartographie fine échelle 3D des concentrations en NO₂ montre qu'aucune habitation et qu'aucun habitant de la commune n'est cependant exposé à des concentrations supérieures à ce seuil en NO₂.

Effets des merlons sur les concentrations en dioxyde d'azote

Comme les années précédentes, **l'abattement des concentrations en dioxyde d'azote à l'arrière des merlons est mis en évidence** avec un effet de décroissance marqué à l'arrière des merlons. La variabilité des concentrations entre les abords de l'autoroute et l'arrière des merlons sont importantes et sont de l'ordre de 55% côté merlon communal et de 40% coté merlons témoins et irrigués, ce qui démontre l'efficacité des merlons pour réduire les concentrations au niveau des habitations de Sant-Aunès.

Les cartographies réalisées à partir des modélisations 3D montrent que les merlons permettent de stopper horizontalement la propagation du panache de NO₂.

Effets des merlons sur les concentrations en particules en suspension et particules fines

Les particules en suspension, du fait de leurs particularités physiques, notamment de leur poids ne se comportent pas comme les polluants gazeux. Les modélisations réalisées permettent de mieux évaluer les phénomènes de dispersion des particules à l'échelle des merlons. On observe, comme pour le NO₂, **l'effet écran des merlons qui permettent de limiter la dispersion horizontale des panaches de particules**

provenant de l'autoroute. Contrairement au NO_2 , la variabilité des concentrations en particules entre les abords de l'autoroute et l'arrière des merlons est cependant faible et inférieure à 10%. Cette variation est plus visible en hiver au niveau du merlon communal.

Effets des végétaux sur les concentrations en dioxyde d'azote et particules

La modélisation fine échelle 3D réalisée au niveau des merlons avait pour objectif de tester plusieurs cas de couvertures végétales. Ces tests ont permis de montrer le rôle des végétaux sur la dispersion des polluants. Selon la hauteur des végétaux et la densité de la couverture végétale, la dispersion verticale des panaches de polluants est accentuée. Cet effet d'élévation des panaches est le plus visible pour le NO_2 sur le merlon communal avec une réduction des concentrations de l'ordre de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'arrière du merlon.

Ces diminutions sont peu visibles sur les autres merlons et sur les concentrations en particules PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$ du fait de la faible végétalisation des merlons témoins et irrigués.

1. Contexte et objectifs

1.1. Contexte

En 2016, afin d'améliorer la protection des riverains à la pollution et au bruit, l'association de riverains ADPMA9 a proposé aux Autoroutes du Sud de la France (ASF) d'expérimenter la mise en place de haies arborées le long de l'autoroute, à proximité des habitations sur la commune de Saint-Aunès. L'ADPMA9 s'appuie notamment sur une étude de l'université de Lancaster au Royaume Uni qui démontre qu'il existe un potentiel de réduction des particules PM10 par les végétaux. Dans cette étude, des analyses effectuées au microscope électronique montrent que les particules fines sont « capturées » par les feuilles.

Sur propositions de l'association ADPMA9, ASF a mis en œuvre différents dispositifs de protection et d'évaluation dont une étude menée en partenariat avec Atmo Occitanie, pour une période de 10 années (2017-2027), visant à évaluer l'effet des haies végétalisées sur la qualité de l'air.

En 2017, des merlons de terre placés en bordure de l'autoroute et utilisés principalement pour la protection acoustique des riverains le long d'infrastructures routières ont été végétalisés par les ASF, dans l'objectif d'atténuer la pollution atmosphérique et le bruit.

Pour évaluer l'impact de haies arborées, plantées en 2017, sur la réduction de la pollution de l'air provenant de la circulation routière sur l'autoroute A9, 3 types de haies arborées sont plantées selon deux modalités d'irrigation (irrigué-fertilisé et irrigation ponctuelle) en lien avec le volume de biomasse attendu :

- Merlon témoin : mode paysager (extensif) avec irrigation ponctuelle les premières années.
- Merlon irrigué et fertilisé : mode intensif avec irrigation goutte à goutte et fertilisation des végétaux pour accélérer la pousse et le volume de biomasse produite. Les 2 premiers merlons sont plantés au départ avec les mêmes végétaux. La comparaison porte donc uniquement sur le mode de conduite des végétaux.
- Merlon communal : situé sur un terrain communal ; Plantations irriguées composées de différents végétaux (méthode intensive et à vocation plus paysagère).

Les photos sont présentées en annexe.

Les approches d'évaluation menées par les partenaires sont les suivantes :

- évaluation quantitative, pour le suivi de l'évolution de la qualité de l'air menée par Atmo Occitanie,
- évaluation qualitative sur le pouvoir de captation des polluants par les végétaux en lien avec le volume de biomasse pour les différents merlons, menée par le CNRS.

Un comité de pilotage pluridisciplinaire a été constitué, réunissant annuellement les différents acteurs du territoire de l'étude (ville de St-Aunès, association ADPMA9) ainsi que les différents acteurs du projet (ASF, Atmo Occitanie, CNRS, entreprises chargées des espaces verts et de l'irrigation) pour rendre compte de la mise en œuvre des dispositifs et de l'avancée de l'évaluation.

Cette étude s'inscrit dans le PSQA et le projet associatif d'ATMO Occitanie, en répondant plus particulièrement aux objectifs suivants :

Axe 3-3 : "Accompagner les partenaires pour l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air des aménagements urbains et des infrastructures de transport"

Axe 4-3 : "Participer avec des organismes publics ou privés, à des études et des recherches contribuant au développement d'outils et de connaissances relatifs à la qualité de l'atmosphère"

Axe 4-4 : "Accompagner l'innovation et le transfert technologique"

Ce rapport présente les résultats des concentrations de polluants atmosphériques mesurés en 2024 dans l'environnement des merlons. Les différents rapports d'étude réalisés depuis 2017 sur ce projet sont disponibles sur www.atmo-occitanie.org.

1.2. Objectifs

Les objectifs de cette étude, définis en partenariat avec ASF sont de :

- ✓ Réaliser un suivi régulier des concentrations en polluants sur les sites étudiés lors de l'état initial afin de disposer de données permettant aux équipes de recherche de mesurer l'effet attendu, sur la pollution atmosphérique, de l'augmentation de végétation plantée sur les merlons ;
- ✓ Comparer l'impact des différents merlons végétalisés sur les concentrations en polluants (dioxyde d'azote et particules fines)
- ✓ Etudier la dispersion des émissions du trafic autoroutier au niveau des aménagements réalisés à Saint-Aunès (merlons, murs antibruits) ;
- ✓ Améliorer la connaissance de la qualité de l'air aux abords de l'autoroute ;
- ✓ Comparer les concentrations des différents polluants aux valeurs réglementaires.

Dans ce rapport, sont présentés les résultats des mesures, de l'année 2024, par échantillonneurs passifs NO₂ de la station mobile équipée d'analyseurs automatiques de NO₂ et de particules en suspension PM₁₀ et particules fines PM_{2,5} et des microcapteurs de particules PM₁₀ et de particules PM_{2,5}.

Sont également présentés, les résultats de modélisation de différents scénarios de végétalisation des merlons afin de comprendre les effets des végétaux sur la dispersion des polluants atmosphériques.

Cette étude vient compléter les modélisations fine échelle réalisées en 2022 avec et sans merlons dans l'objectif d'étudier la dispersion des polluants gazeux et particulaires au niveau de ses infrastructures.

2. Dispositif d'évaluation

2.1. Moyens d'évaluation

Objectifs	Dispositifs déployés
Suivi de la qualité de l'air sur la zone d'étude	<ul style="list-style-type: none"> - 28 sites échantillonneurs passifs NO₂ - 6 microcapteurs PM₁₀, PM_{2,5} - station mobile : analyseurs de référence pour la mesure du NO₂, des particules PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁
Comparer l'impact des différents merlons sur la qualité de l'air	<ul style="list-style-type: none"> - Sites placés de part et d'autre de chaque merlon : <ul style="list-style-type: none"> - 6 microcapteurs PM₁₀, PM_{2,5} - 6 sites échantillonneurs passifs NO₂ - Modélisation des effets de végétaux sur la qualité de l'air par un logiciel fine échelle
Etude de la dispersion des émissions de polluants issus du trafic autoroutier	<ul style="list-style-type: none"> - Sites déployés selon la distance à l'autoroute (échantillonneurs passifs, microcapteurs) - Modélisation de la dispersion des polluants par un logiciel fine échelle
Comparer les concentrations aux valeurs réglementaires	<ul style="list-style-type: none"> Estimation des moyennes annuelles en NO₂ Comparaison aux sites de la région

➤ Dispositif de mesure en continu du NO₂ et des particules

Site de mesure de la station mobile – Saint-Aunès - Espace Bessèdes



Une station de mesures a été installée au niveau de l'espace Bessèdes, à proximité du merlon communal (voir carte au paragraphe 2.2). Dans cette station, des mesures en continu sont réalisées pour le dioxyde d'azote (NO₂) ainsi que pour les particules en suspension PM₁₀, et les particules fines PM_{2,5} et PM₁. Elles permettent le suivi de l'évolution des concentrations de ces polluants au cours des différentes journées.

En 2024, les mesures ont eu lieu sur 2 périodes contrastées du point de vue météorologique, du 11 janvier au 31 mars et du 1^{er} juillet au 30 septembre 2024.

➤ Echantillonneurs passifs NO₂

Les 28 sites de mesures sont répartis en différents lieux du territoire afin de répondre à plusieurs objectifs :

- 15 sites sont positionnés à proximité du trafic routier, principal émetteur de NO₂, dont les sites équipés de microcapteurs au bord de l'autoroute,
- 8 sites de mesures ont été placés en milieu urbain, non influencé par des axes routiers importants afin de mesurer la pollution de fond urbaine dans différents quartiers de Saint-Aunès,
- 3 sites sont implantés en milieu urbain mais relativement proches de l'autoroute pour être influencés par le trafic,
- 1 site est placé en milieu rural mais relativement proche de l'autoroute pour être influencé par le trafic (moins de 100 mètres),
- 1 site de référence urbaine est installé à la station de Prés d'Arènes de Montpellier pour comparaison.

La localisation des sites et les résultats détaillés des mesures de NO₂ sont présentés en annexe 7.

Les mesures se sont déroulées sur 2 périodes météorologiques contrastées : du 12 janvier au 8 février 2024 et du 4 juillet au 29 août 2024.

➤ Microcapteurs de particules en suspension PM₁₀ et particules fines PM_{2,5}

Des mesures en continu de particules en suspension PM₁₀ et particules fines PM_{2,5} sont réalisées au niveau de chaque merlon par le biais de microcapteurs.

6 micro capteurs ont été installés du 9 janvier au 30 mars et du 1er juillet au 28 août 2024 :

- 5 de part et d'autre de chaque merlon au bord de l'autoroute,
- 1 à proximité des appareils de référence de la station mobile permettant ainsi la validation des données des microcapteurs. Le protocole de validation détaillé est présenté en annexe10.

La carte d'implantation est présentée page suivante. Les périodes de mesures exploitables sont du 13 janvier au 28 mars 2024 pour la période hivernale et du 1^{er} juillet au 28 août 2024 pour la période estivale.

Localisation des mesures de particules par microcapteur - 2024



➤ Modélisation 3D au niveau de chaque merlon avec le logiciel Miskam

Une modélisation de la dispersion des polluants au niveau des merlons, intégrant les murs anti-bruits, les merlons et la couverture végétale est réalisée.

Les données d'entrées détaillées ainsi que les limites de la modélisation 3D sont présentées en annexe 12. Cette modélisation a été réalisée sans la prise en compte de la turbulence provoquée par le passage des véhicules et une différenciation entre les espèces de végétaux qui peuvent influencer la dispersion des polluants et les dépôts atmosphériques.

Afin d'étudier **l'effet des végétaux sur la qualité de l'air, 3 scénarios sont étudiés.**

Les paramètres utilisés par le logiciel Miskam, pour modéliser les effets des végétaux sur la dispersion des polluants atmosphériques sont les suivants :

- **LAD** : Le paramètre LAD (Leaf Area Density) utilisé dans MISKAM est exprimé en m^2/m^3 et représente la densité de surface foliaire par unité de volume d'air. Il influe sur la dispersion des polluants en modifiant les champs de vent. Par exemple, si l'on définit $LAD = 3$, cela signifie que dans chaque mètre cube d'air, il y a $3 m^2/m^3$ de surface foliaire. Une valeur élevée de LAD indique une forte obstruction au vent, réduisant sa vitesse et créant des turbulences.

- **Couverture végétale** : exprimée en % de surface couverte par la végétation, joue un rôle majeur dans la dispersion des polluants atmosphériques. Son impact dépend de plusieurs facteurs : densité, hauteur des végétaux et interaction avec les flux d'air.

- **Hauteur des végétaux** : exprimée en mètre, la hauteur des végétaux modifie les champs de vents.

Ces 3 paramètres combinés doivent permettre de comprendre les effets de la végétalisation des merlons sur la qualité de l'air.

Cependant, **les faibles hauteurs de végétaux (moins de 3 mètres) ne devraient pas permettre de modifier significativement la dispersion des polluants**. Les **modifications ne sont que locales avec une légère réduction de la vitesse du vent**.

➤ Scénarios étudiés

Chaque merlon est découpé en plusieurs parties en fonction de la végétalisation réelle (voir l'image ci contre). La description pour chaque merlon du couvert végétal est exprimé avec les 3 paramètres décrits plus hauts.

Les scénarios sont :

- Le cas réel
- Le cas d'un merlon faiblement végétalisé.
- Le cas d'un merlon avec une végétalisation plus dense que le cas réel.

Ces 2 derniers scénarios se veulent réalistes et s'appuient sur le cas réel pour déterminer les différents paramètres.



Cas étudiés			
Merlon	Cas réel	Faiblement végétalisé	Végétalisation plus dense
Merlon communal 	LAD : 3 m ² /m ³ Couverture végétale de 90 à 100% Hauteur de 1,50 m à 2,50 m	LAD : 2 m ² /m ³ Couverture végétale de 50% Hauteur de 1,50 m à 2,50 m	LAD : 4 m ² /m ³ Couverture végétale de 100% Hauteur de 2,50 m
Merlon irrigué 	LAD : 3 m ² /m ³ Couverture végétale de 20 à 90% Hauteur de 1 m à 2 m	LAD : 2 m ² /m ³ Couverture végétale de 50% Hauteur de 0,50 m	LAD : 4 m ² /m ³ Couverture végétale de 100% Hauteur de 2,50 m
Merlon témoin 	LAD : 3 m ² /m ³ Couverture végétale de 10 à 90% Hauteur de 0,50 m à 1,50 m	LAD : 2 m ² /m ³ Couverture végétale de 50% Hauteur de 0,50 m	LAD : 4 m ² /m ³ Couverture végétale de 100% Hauteur de 2,50 m

3. Concentrations en NO₂

3.1. Suivi des concentrations en NO₂ en 2024

3.1.1. Comparaison au seuil réglementaire

➤ Concentrations en NO₂ - Station mobile – Espace Bessèdes

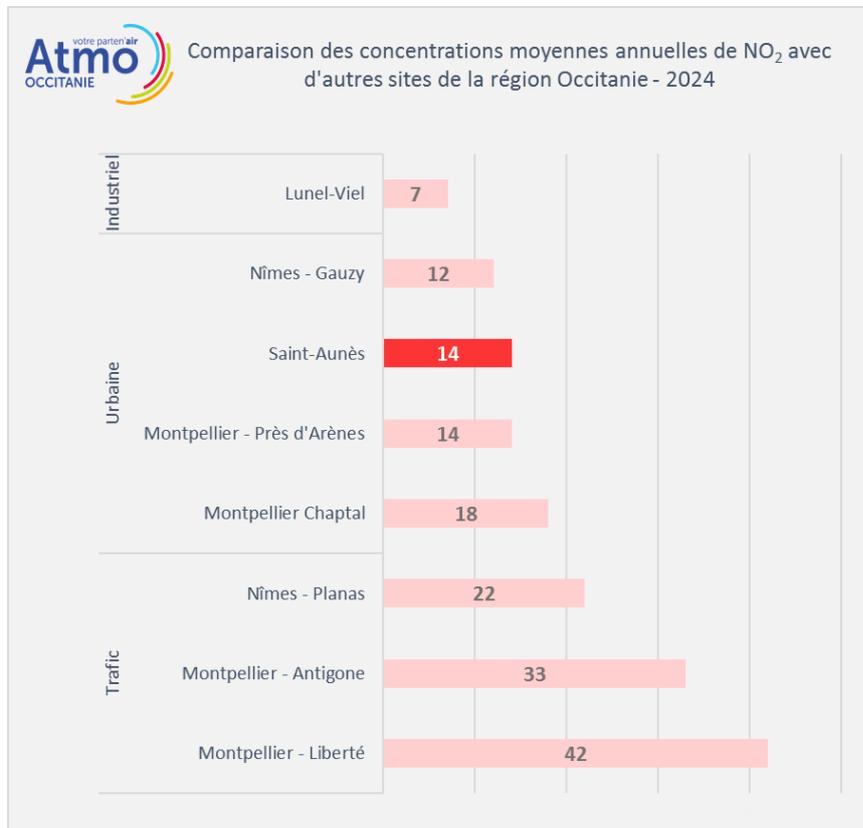
Derrière le merlon communal, la station mobile enregistre, comme au niveau des échantillonneurs passifs en NO₂, des concentrations comprises entre 18 µg/m³ en hiver et 12 µg/m³ en été. La **moyenne** sur l'ensemble de l'étude est de **15 µg/m³**, soit inférieure à la valeur limite annuelle en NO₂ fixée à 40 µg/m³.

Par rapport à 2023, on note une légère diminution des concentrations en NO₂.

Comme depuis le début des mesures, **sur le site de l'espace Bessèdes à Saint-Aunès, la valeur limite annuelle en NO₂ est respectée.**

Pour l'année 2024, par comparaison à d'autres sites de Montpellier, les niveaux de NO₂ mesurés à l'Espace Bessèdes à Saint-Aunès sont :

- **proches de ceux mesurés en milieu urbain à Montpellier** (14 µg/m³ à Saint-Aunès, 14 µg/m³ en moyenne à Près d'Arènes, 18 µg/m³ en moyenne à Chaptal),
- inférieurs aux concentrations des sites de proximité Trafic de Montpellier (33 µg/m³ en moyenne à Antigone, 42 µg/m³ en moyenne Avenue de la Liberté).

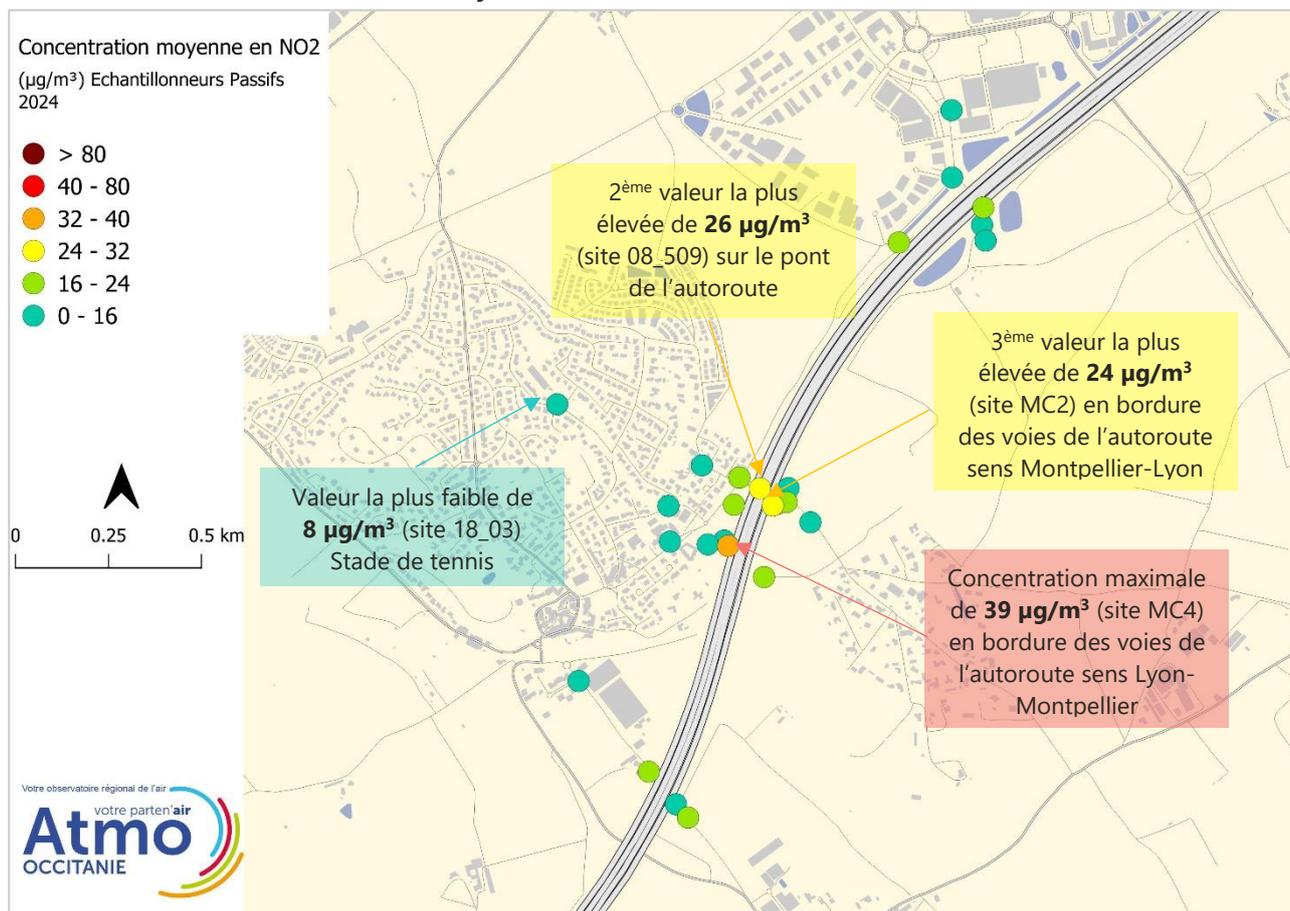


➤ Campagne de mesure par échantillonneurs passifs NO₂

La méthode de mesure par échantillonneurs passifs est présentée en annexe 6.

La carte suivante présente les moyennes annuelles estimées pour 2024 par site de mesure.

Estimation des moyennes annuelles en NO₂ – 2024 – Saint-Aunès



En 2024, la concentration annuelle estimée sur le site MC4 est de 39 µg/m³ et pourrait ne pas respecter la valeur limite annuelle de 40 µg/m³ si l'on tient compte de l'incertitude¹ applicable aux mesures par échantillonneurs passifs. Ce suivi situé à proximité du trafic de l'autoroute, à l'intérieur de l'enceinte ASF dans le sens Lyon-Montpellier, est le plus influencé par la pollution provenant de l'autoroute.

Comme les années précédentes, c'est sur ce site, très influencé par le trafic de l'autoroute, que les concentrations en NO₂ sont les plus élevées.

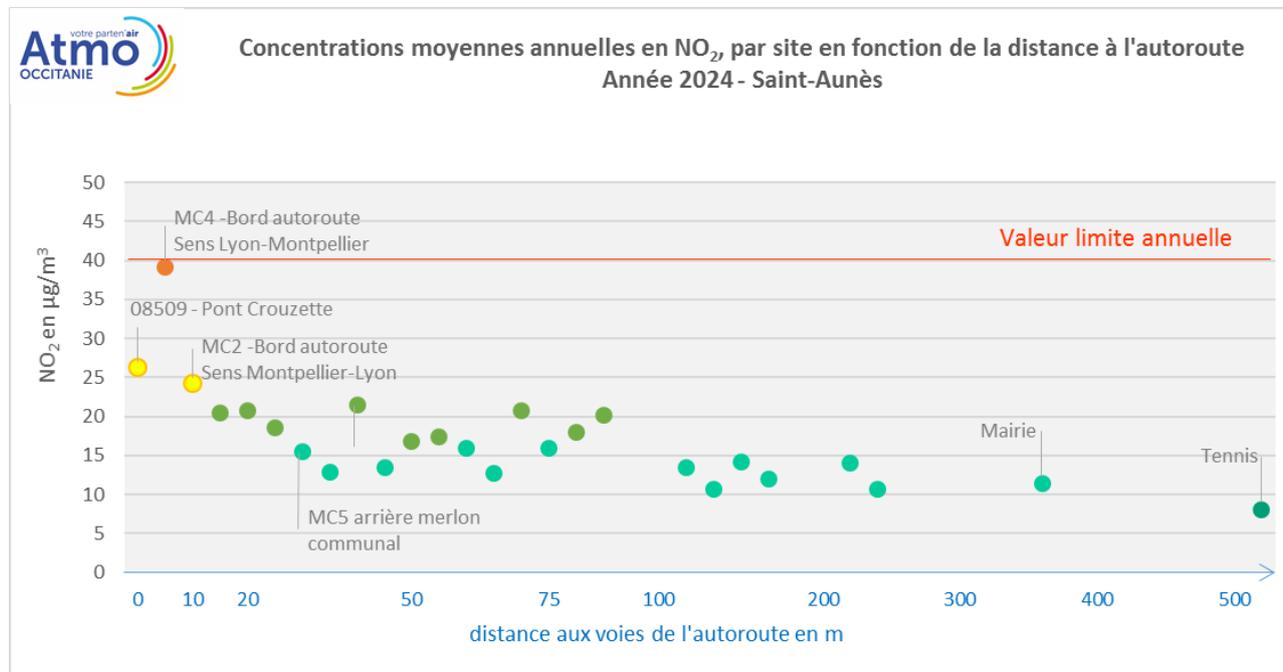
Pour tous les autres sites, les concentrations annuelles de NO₂ sont en dessous de 24 µg/m³ et devraient respecter la valeur limite annuelle.

¹ L'incertitude maximale donnée par le fournisseur GRADKO est de 10% pour des concentrations comprises entre 20 et 40 µg/m³. A cela s'ajoute d'autres incertitudes liées à l'exposition du capteur (proximité des sources de NO_x, température, environnement géographique,...), à la pose, à l'analyse, etc.... Elle peut ainsi atteindre 30% selon les configurations.

3.1.2. Variations spatiales

Le NO₂ est un polluant qui réagit rapidement dans l'atmosphère, les concentrations mesurées varient fortement en fonction de la distance de la source principale qui est le trafic routier.

Le graphique suivant illustre la décroissance des concentrations en NO₂ par rapport la distance à l'autoroute.



Tendance générale : Les concentrations de NO₂ sont globalement plus élevées à proximité immédiate de l'autoroute (sites MC4, 08509, et MC2), avec un pic de 39 µg/m³ à 7 mètres de la chaussée de l'autoroute. Ensuite, les valeurs diminuent progressivement à mesure que l'on s'éloigne, comprises entre 11 à 14 µg/m³ à partir de 115 mètres, **indiquant que les concentrations de NO₂ diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne des voies de l'autoroute.** Au-delà de 100 mètres, les concentrations sont inférieures à 15 µg/m³, rejoignant progressivement les niveaux de fond urbain.

Variabilités locales : La présence de merlons et de murs anti-bruits accentue la décroissance des concentrations de NO₂. Pour exemple, le site MC5 à moins de 20 m, mais derrière le merlon communal enregistre 15 µg/m³, tandis que le site 1806 au bout du chemin de la pépinière Ruiz à la même distance enregistre 21 µg/m³. A cet endroit il n'y a plus de merlon ni de mur antibruit.

Comme depuis le début des mesures en 2017, on observe, une différence entre les 2 côtés de l'autoroute qui semble s'expliquer par la topographie des sites par rapport aux vents dominants. Ainsi, depuis le début de mesures, les maximums de concentrations à l'intérieur de l'enceinte ASF, sont toujours enregistrés sur le site MC4, sur le merlon communal dans le sens Lyon-Montpellier (voir paragraphe 3.2).

3.2. Effets des merlons sur la qualité de l'air

Les données d'entrées et les limites de la modélisation 3D sont présentées en annexe 12.

Les résultats de la validation des modélisations obtenues par comparaison des résultats de la modélisation modélisas aux mesures terrain sont présentés en annexe 12.

3.2.1. Dispersion du NO₂ au niveau des merlons

Afin d'évaluer l'effet de la végétation sur la dispersion et les concentrations en NO₂, trois scénarios de végétalisation des merlons sont étudiés et comparés entre eux ainsi qu'avec l'état de référence sans végétaux :

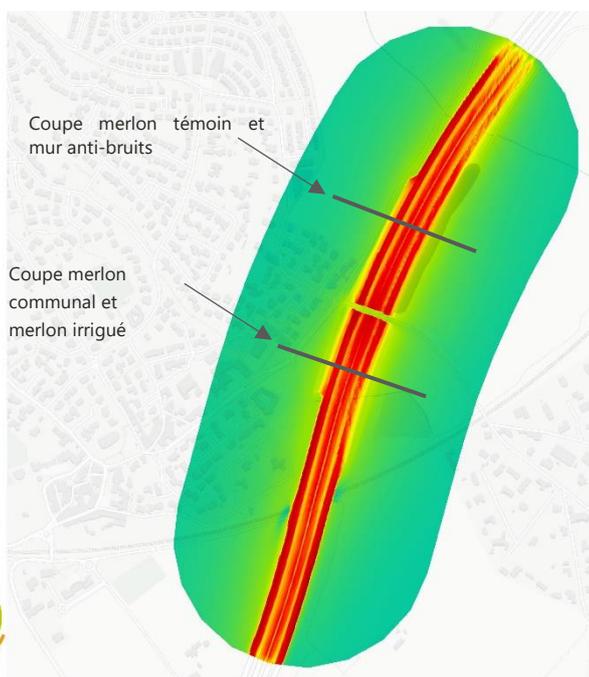
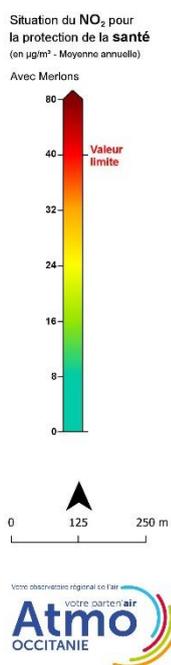
- un état réel qui correspond à la situation actuelle des végétaux en tenant compte des merlons et murs anti-bruits.
- à partir de ce scénario, 2 autres scénarios réalistes sont établis : l'un avec moins de végétaux et un scénario avec des végétaux plus grands et plus nombreux. Les scénarios sont présentés au paragraphe 2.1 page 9.

Les modélisations présentées sont basées sur les mêmes données météorologiques, d'émissions du trafic routier et pollution de fond. Seules, les données de végétalisation sont différentes entre les scénarios.

Les figures suivantes permettent de comparer l'effet des végétaux dans deux dimensions, horizontales et verticales. Les coupes présentées dans les pages suivantes sont positionnées sur la carte ci-dessous.

Concentrations en NO₂ - Moyenne annuelle avec merlons sans végétaux

Moyenne annuelle – Avec végétaux - Haies réelles





Merlon irrigué (photo Atmo Occitanie – Novembre 2024)



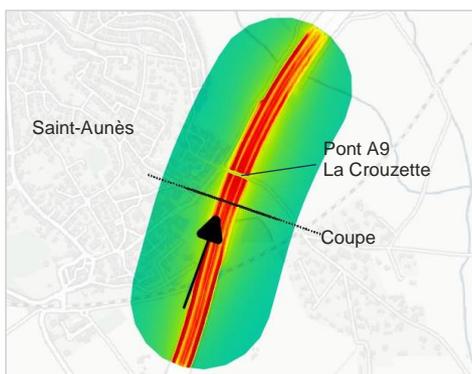
Merlon communal (photo Atmo Occitanie – Novembre 2024)



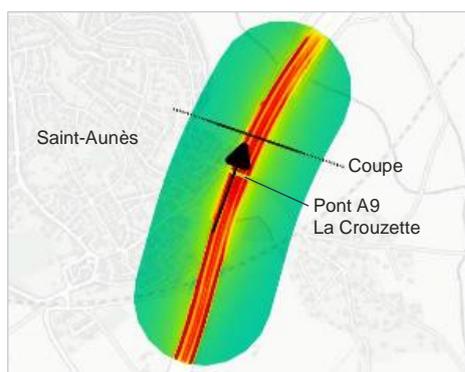
Merlon témoin (photo Atmo Occitanie – Novembre 2024)

Les coupes présentées aux pages suivantes sont réalisées selon les coupes suivantes :

Coupe merlon communal et merlon irrigué



Coupe merlon témoin



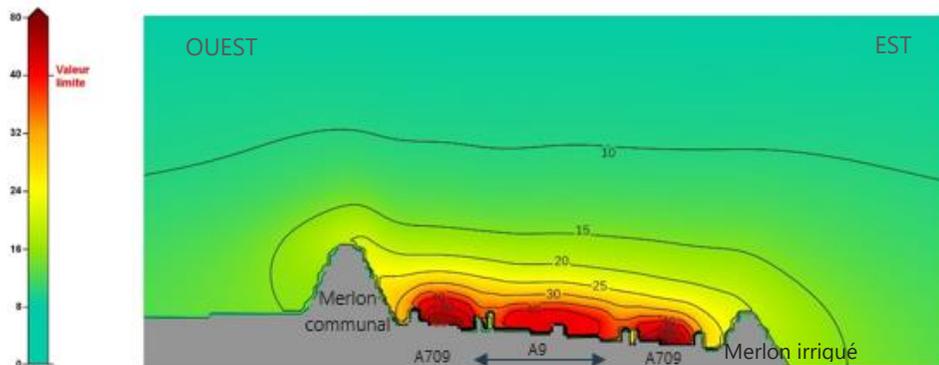
Concentrations en NO₂ - Moyenne annuelle selon le scénario – Coupe merlon communal et merlon irrigué

Sans végétaux

Situation du NO₂ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)



Sans végétaux

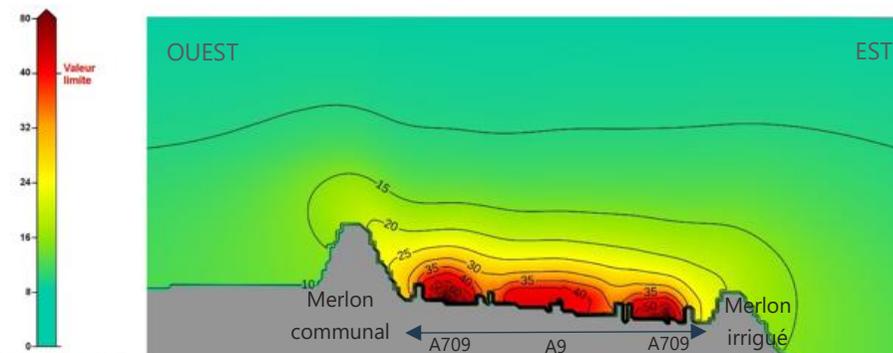


Conditions actuelles : merlon communal avec couverture végétale de 90 à 100% et hauteur de 1,50 m à 2,50 m - Merlon irrigué : Couverture végétale de 20 à 90% et hauteur de 1 m à 2 m

Situation du NO₂ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

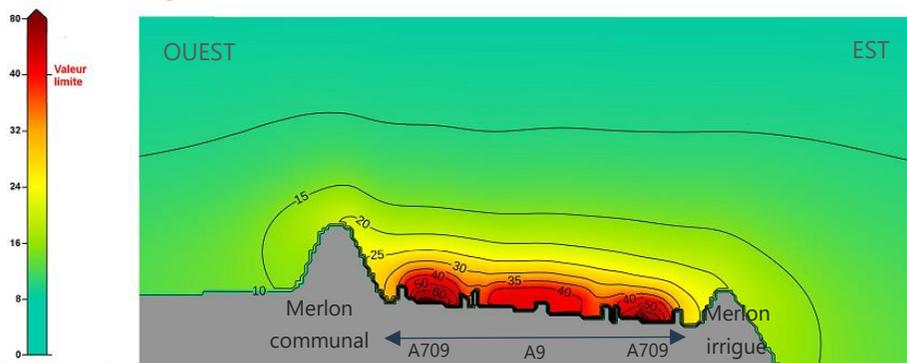


Haies Réelles



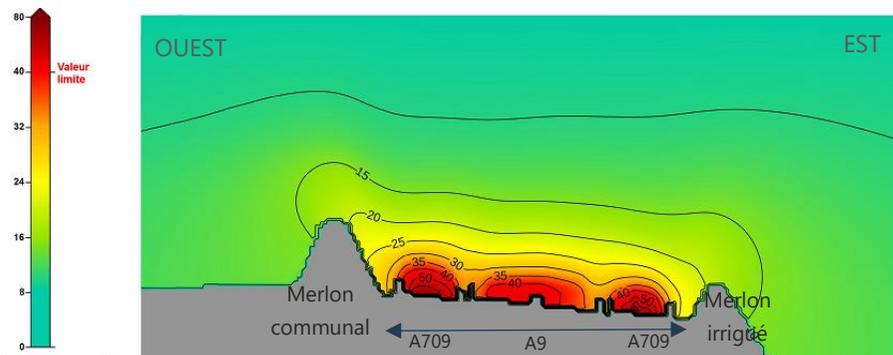
Avec diminution des végétaux : merlon communal : 50% de couverture végétale et hauteur des végétaux à 1,50 à 2,50 m et 0,50 m sur le merlon irrigué

Situation du NO₂ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)



Avec augmentation des végétaux : 100% de couverture végétale et hauteur des végétaux à 2,50 m

Situation du NO₂ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

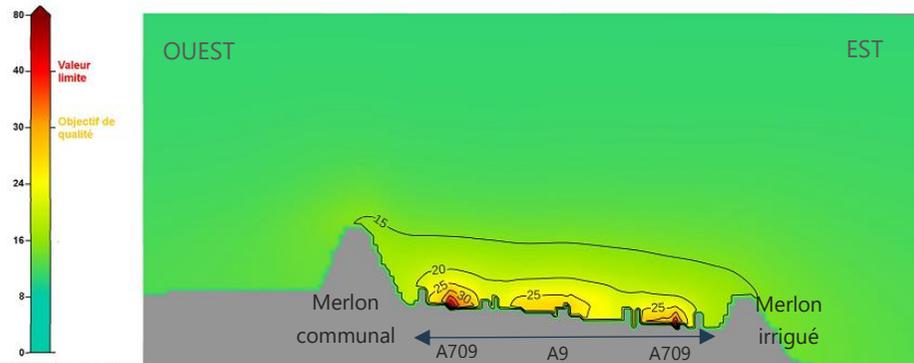


Concentrations en particules PM₁₀ - Moyenne annuelle selon le scénario – Coupe merlon communal et merlon irrigué

Sans végétaux

Situation des PM₁₀ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

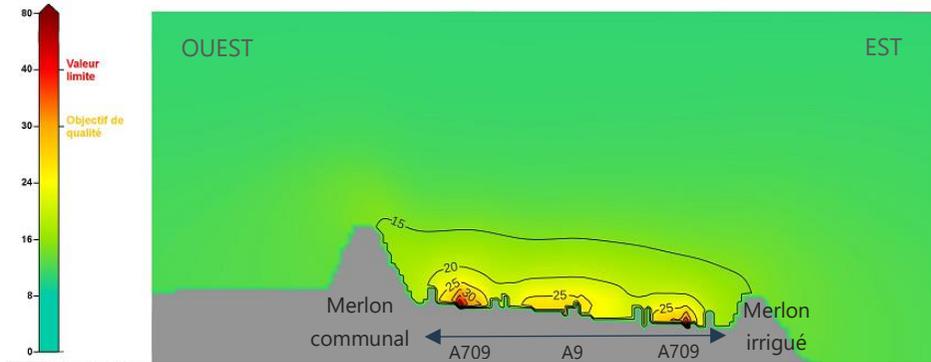
Sans végétaux



Conditions actuelles : merlon communal avec couverture végétale de 90 à 100% et hauteur de 1,50 m à 2,50 m - Merlon irrigué : Couverture végétale de 20 à 90% et hauteur de 1 m à 2 m

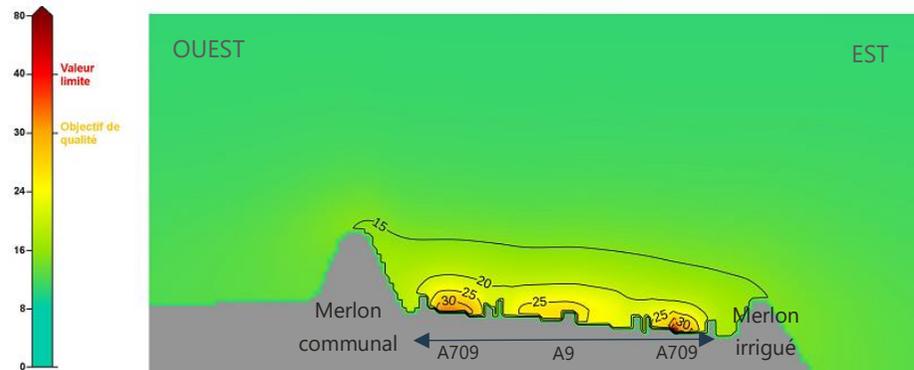
Situation des PM₁₀ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

Haies Réelles



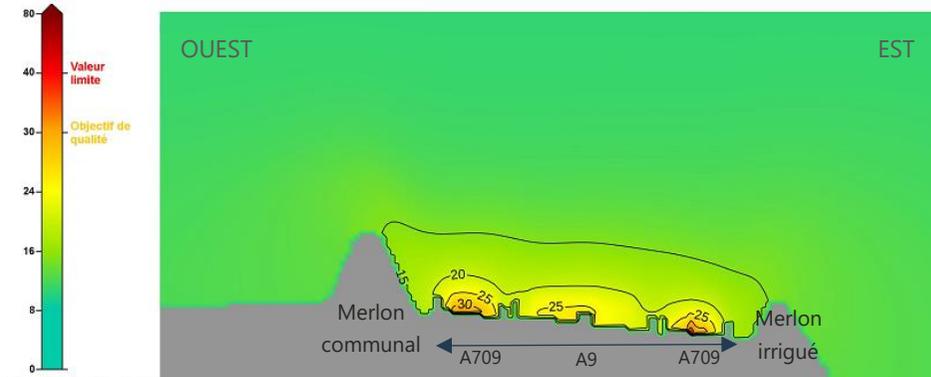
Avec diminution des végétaux : merlon communal : 50% de couverture végétale et hauteur des végétaux à 1,50 à 2,50 m et 0,50 m sur le merlon irrigué

Situation des PM₁₀ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)



Avec augmentation des végétaux : 100% de couverture végétale et hauteur des végétaux à 2,50 m

Situation des PM₁₀ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

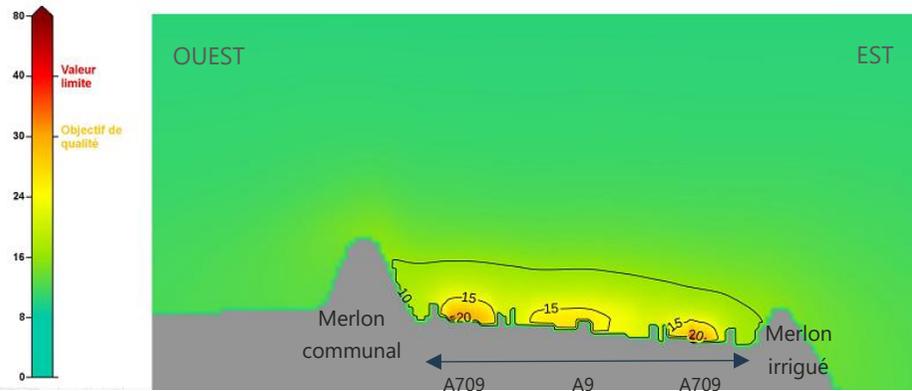


Concentrations en particules PM_{2.5} - Moyenne annuelle selon le scénario – Coupe merlon communal et merlon irrigué

Sans végétaux

Situation des PM₁₀ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

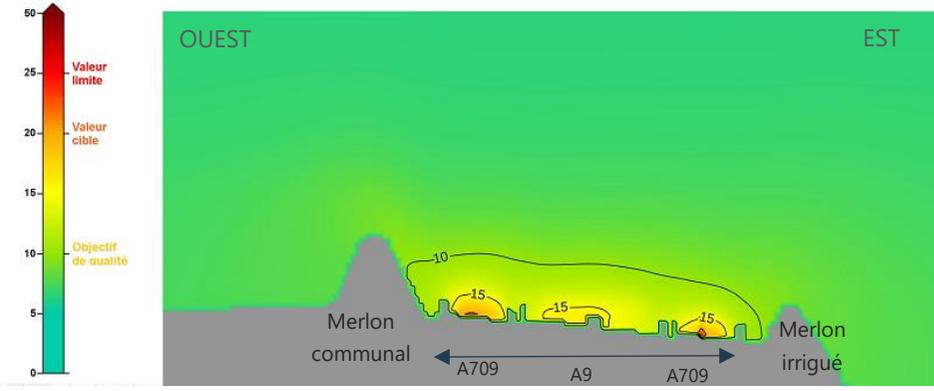
Sans végétaux



Conditions actuelles : merlon communal avec couverture végétale de 90 à 100% et hauteur de 1,50 m à 2,50 m - Merlon irrigué : Couverture végétale de 20 à 90% et hauteur de 1 m à 2 m

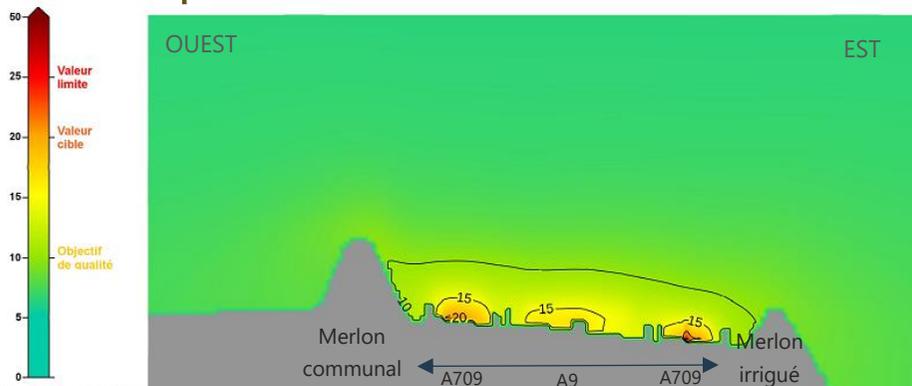
Situation des PM_{2.5} pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

Haies Réelles



Avec diminution des végétaux : merlon communal : 50% de couverture végétale et hauteur des végétaux à 1,50 à 2,50 m et 0,50 m sur le merlon irrigué

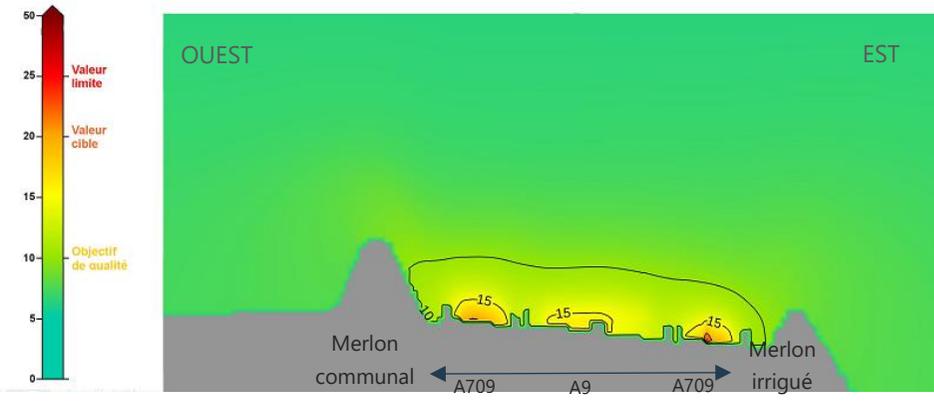
Situation des PM_{2.5} pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)



Avec augmentation des végétaux : 100% de couverture végétale et hauteur des végétaux à 2,50 m

Situation des PM_{2.5} pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

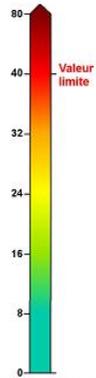
Haies Fortes



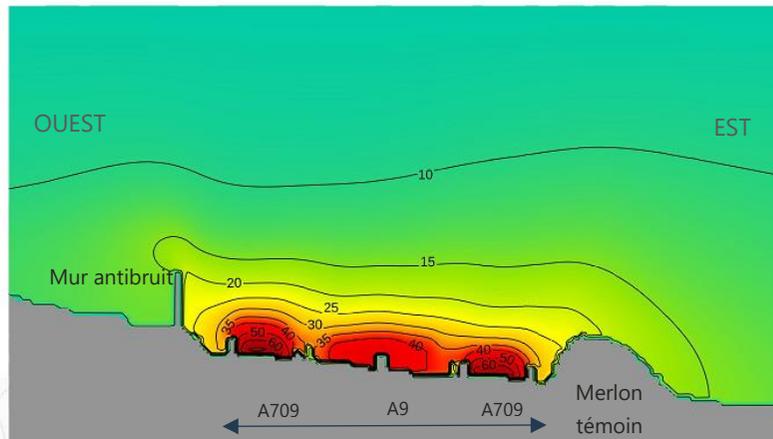
Concentrations en NO₂ - Moyenne annuelle selon le scénario – Coupe Merlon témoin

Sans végétaux

Situation du NO₂ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)



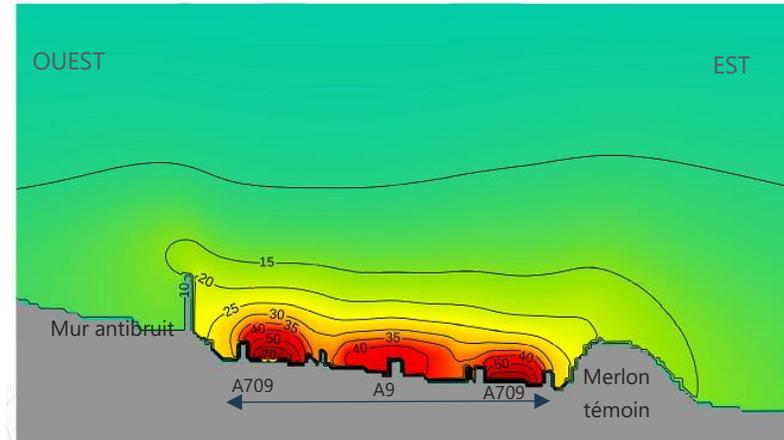
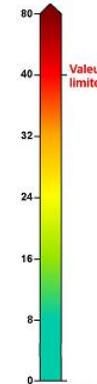
Sans végétaux



Conditions actuelles

: Merlon témoin : Couverture végétale de 10 à 90% et hauteur de 0,50 m à 1,50 m.

Situation du NO₂ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

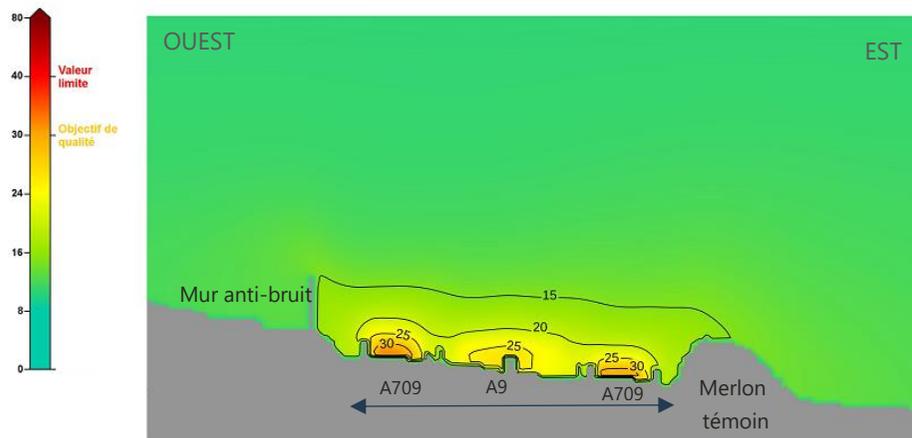


Concentrations en particules PM₁₀ - Moyenne annuelle selon le scénario – Coupe Merlon témoin

Sans végétaux

Situation des PM₁₀ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

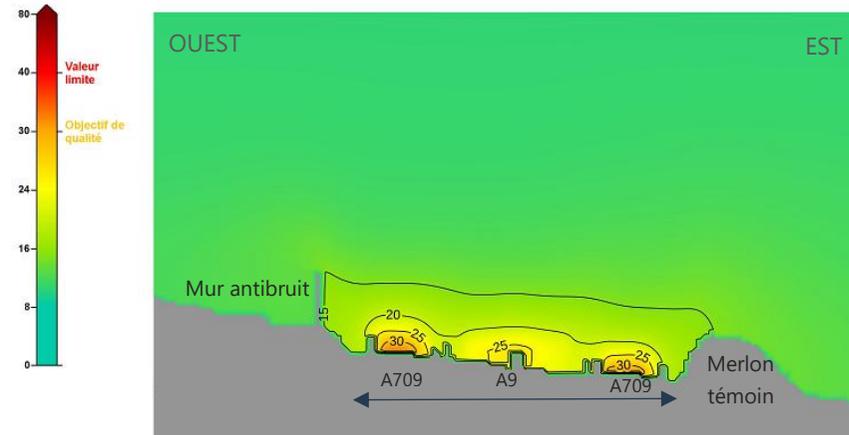
Sans végétaux



Conditions actuelles :

Merlon témoin : Couverture végétale de 10 à 90% et hauteur de 0,50 m à 1,50 m.

Situation des PM₁₀ pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

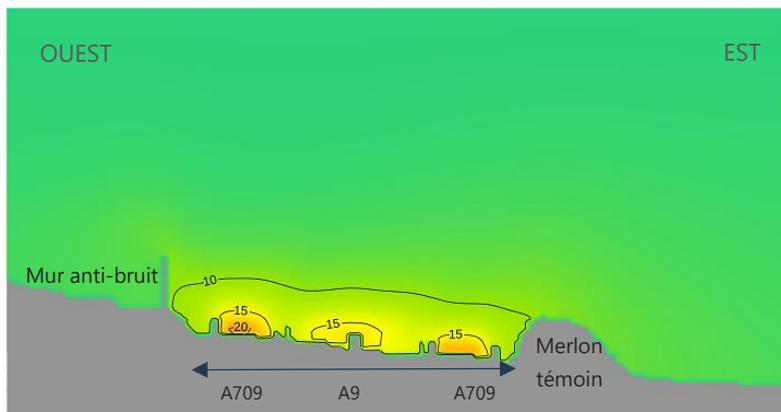
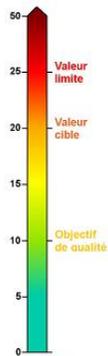


Concentrations en particules PM_{2.5} - Moyenne annuelle selon le scénario – Coupe merlon témoin

Sans végétaux

Situation des PM_{2.5} pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)

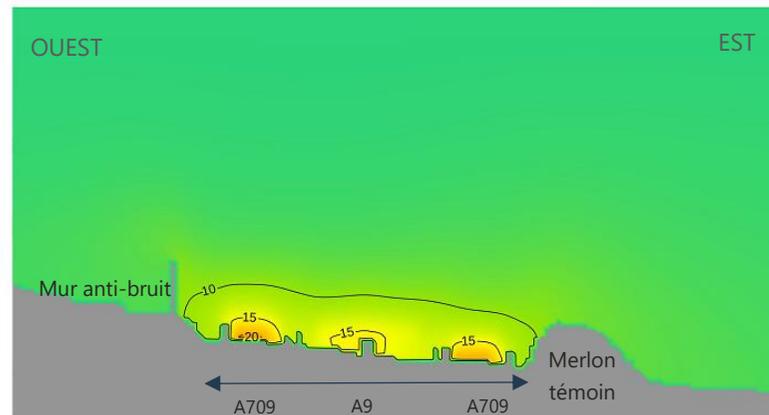
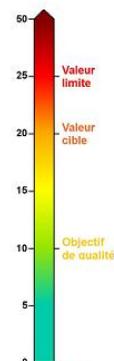
Sans végétaux



Conditions actuelles :

Merlon témoin : Couverture végétale de 10 à 90% et hauteur de 0,50 m à 1,50 m.

Situation des PM_{2.5} pour la protection de la **santé** (en µg/m³ - Moyenne annuelle)



Bilan

➤ Avec et sans végétaux

Les modélisations 3D, ont permis d'illustrer le rôle des végétaux dans l'élévation des panaches issues du trafic routier. Les limites de cette exercice sont présentées en annexe 12.

En 2024, avec les haies végétalisées, les panaches s'élèvent très légèrement en lien avec la hauteur des végétaux qui est comprise à Saint-Aunès, entre 0,50 et 2,50 mètres, soient des hauteurs assez faibles. Cependant, les figures présentant les coupes montrent l'effet d'élévation des panaches lorsque les merlons sont végétalisés.

C'est sur le merlon communal, que l'effet des végétaux est le plus visible, notamment au niveau des concentrations moyennes annuelles en dioxyde d'azote entre le cas sans végétaux et le cas réel. A l'arrière du merlon communal, les concentrations au sol sont réduites de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ grâce à la présence de végétaux. Au niveau des voies de circulation de l'autoroute, les concentrations de NO_2 n'évoluent pas avec la présence de végétaux.

Le rôle des végétaux sur les concentrations en particules PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ existe mais est moins visible que pour les concentrations de NO_2 . Les concentrations à l'arrière des merlons sont quasi-équivalentes que ce soit avec ou sans végétaux.

➤ Le rôle des merlons et des murs anti-bruit

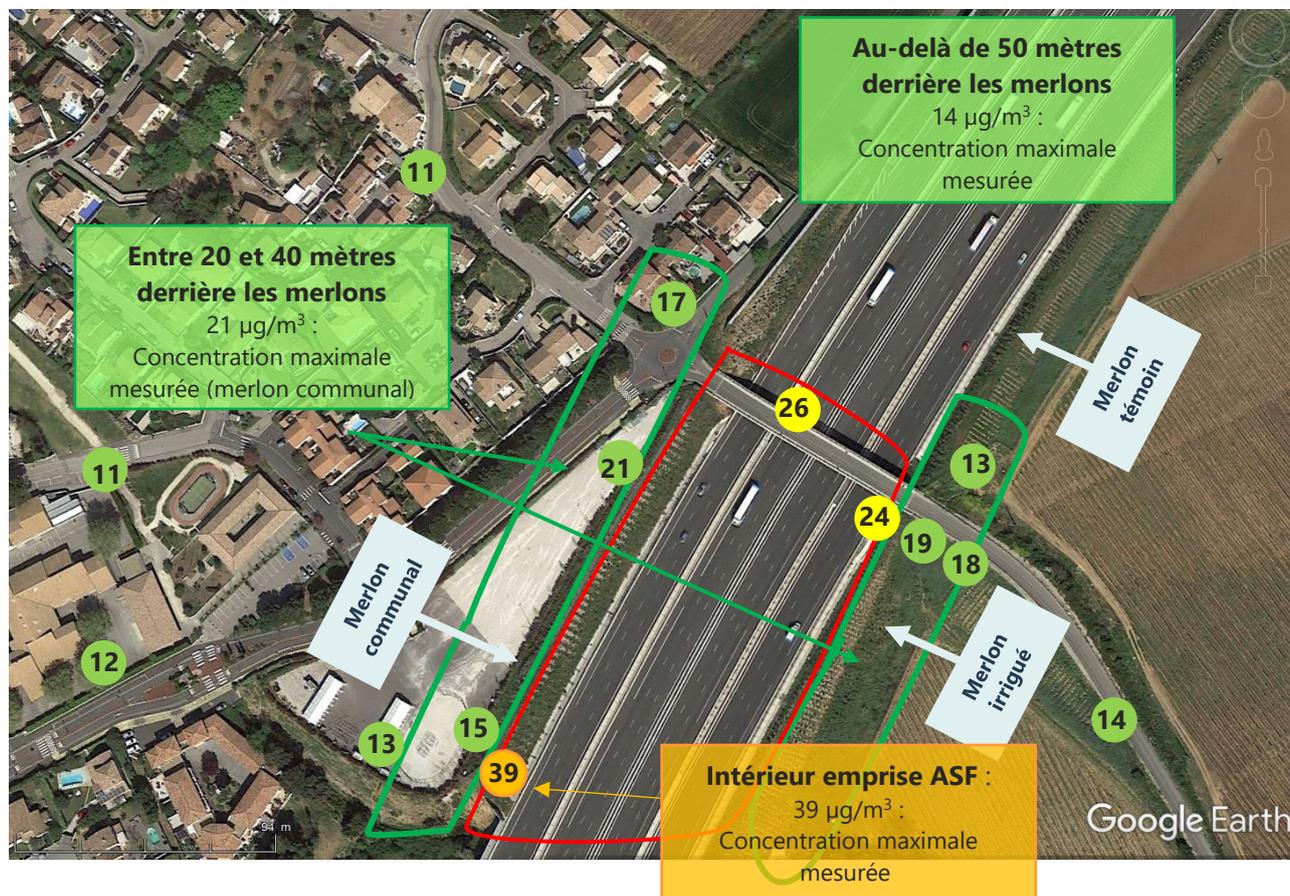
Les merlons et murs anti-bruits jouent le rôle d'écran et permettent de disperser les panaches verticalement protégeant les habitations les plus proches.

La présence de végétaux peut, dans certains cas accentuer la dispersion verticale des panaches, notamment pour les concentrations de NO_2 .

3.2.2. Concentrations en NO₂ au niveau des merlons

La carte ci-dessous présente les concentrations en NO₂, au niveau de chaque merlon.

Saint-Aunès – Concentrations moyennes en NO₂



Comme vu précédemment, les zones les plus impactées par la pollution au NO₂ se situent à proximité immédiate des voies de circulation des autoroutes, à l'intérieur de l'enceinte ASF.

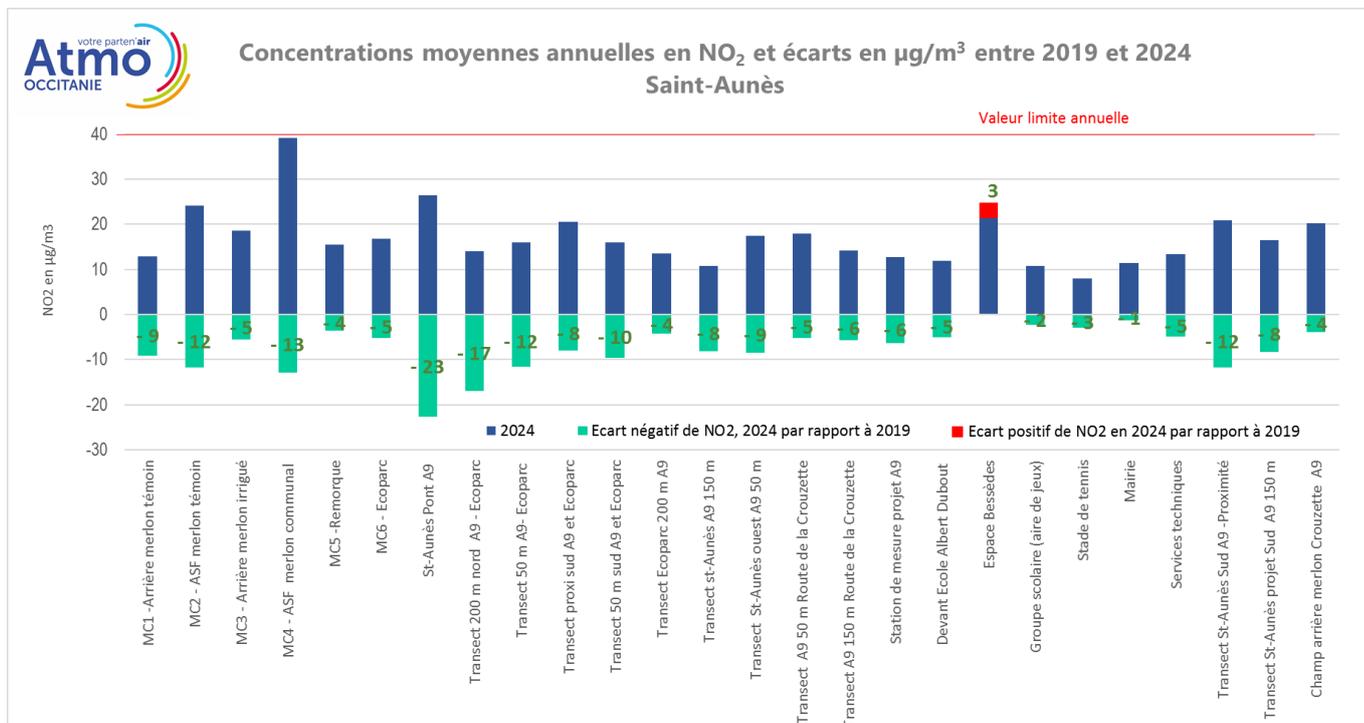
La figure ci-dessus, montre que **derrière les merlons, les concentrations en NO₂ diminuent significativement** :

- **d'environ 55%**, côté **merlon communal**, où l'on enregistre dans l'enceinte ASF, **39 µg/m³** et entre 15 et 21 µg/m³, côté espace Bessèdes situé à environ 80 mètres de l'autoroute.
- côté **merlon irrigué et merlon témoin**, les concentrations passent de **24 µg/m³** devant le merlon à **18 µg/m³** et **14 µg/m³** derrière les 2 merlons.

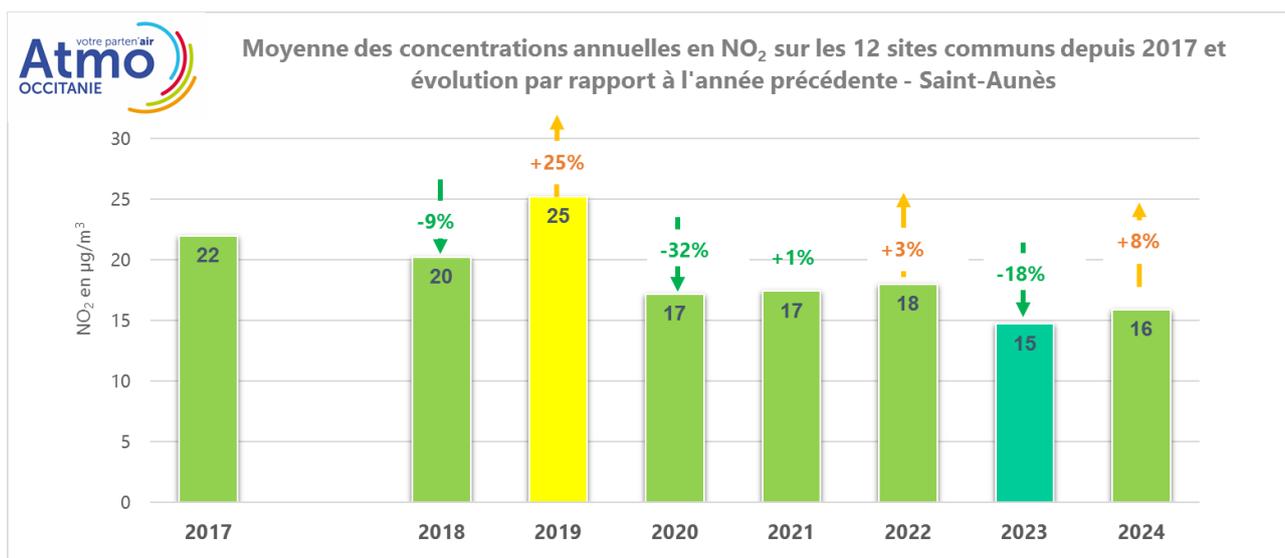
Le dispositif de mesure permet de mettre en évidence une diminution de l'ordre de 50% des concentrations de NO₂ immédiatement derrière les merlons. Cette baisse provient en partie de la structure du merlon qui permet de faire obstacle et dévier les polluants gazeux en hauteur.

3.3. Evolution des concentrations en NO₂ depuis le début des mesures

Sur les 26 sites étudiés par échantillonneurs passifs en 2024, 11 sites sont suivis depuis 2017 et 17 depuis 2018. Les écarts de concentrations en µg/m³ avec 2019, sont présentés dans le graphique suivant.



En 2024, les concentrations en NO₂ sont en moyenne, moins élevées de 37 % par rapport à 2019 qui est la dernière année la plus représentative en termes d'émissions du trafic routier, avant la crise sanitaire.



En 2024, par rapport à 2023, on observe des niveaux de NO₂ relativement proches avec légère augmentation en moyenne de 8% des concentrations en NO₂.

Globalement, **depuis le début des mesures**, sur les 11 sites communs depuis le début de l'étude en 2017, les concentrations en NO₂ ont diminué sur le territoire de Saint-Aunès, quel que soit le type de site (proximité trafic ou fond urbain).

En moyenne, les **concentrations les plus élevées sont mesurées en 2019** et les **plus faibles en 2023**.

4. Concentrations en particules fines

4.1. Suivi des concentrations en particules fines en 2024

Sur le site de la station mobile à Saint-Aunès, les concentrations mesurées sont les suivantes :

Principales statistiques - Particules fines PM ₁₀ , PM _{2,5} et PM ₁ - 2024 – Saint-Aunès			
PERIODES	Moyennes en µg/m ³		
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁
Hiver (01/01 au 29/02)	19	12	10
Eté (01/07 au 31/08)	15	7	6

➤ Comparaison à d'autres sites de la région

A Saint- Aunès, comme sur l'ensemble de la région, les concentrations en particules sont plus élevées en hiver, en raison du caractère multi-sources des émissions de particules comme le chauffage résidentiel, plus émetteur en hiver et l'apport de particules sahariennes sur la région.

Pour comparaison aux sites de la région de Montpellier, les niveaux de PM₁₀ mesurés à Saint-Aunès sont inférieurs à ceux mesurés à proximité du trafic à Montpellier (Pompignane) et proches à ceux mesurés en milieu urbain à Montpellier (Près d'Arènes).

Principales statistiques - Particules fines PM ₁₀ et PM _{2,5} - 2024 – Saint-Aunès						
Site	Saint-Aunès		Montpellier- Pompignane (Trafic)		Montpellier – Près d'Arènes (Urbain)	
	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
Hiver (01/01 au 29/02)	19	12	23	13	19	13
Eté (01/07 au 31/08)	15	7	17	8	17	8
Moyenne des 2 périodes	17	10	20	11	18	11
Moyenne Année 2024	Non disponible		18	8	16	8

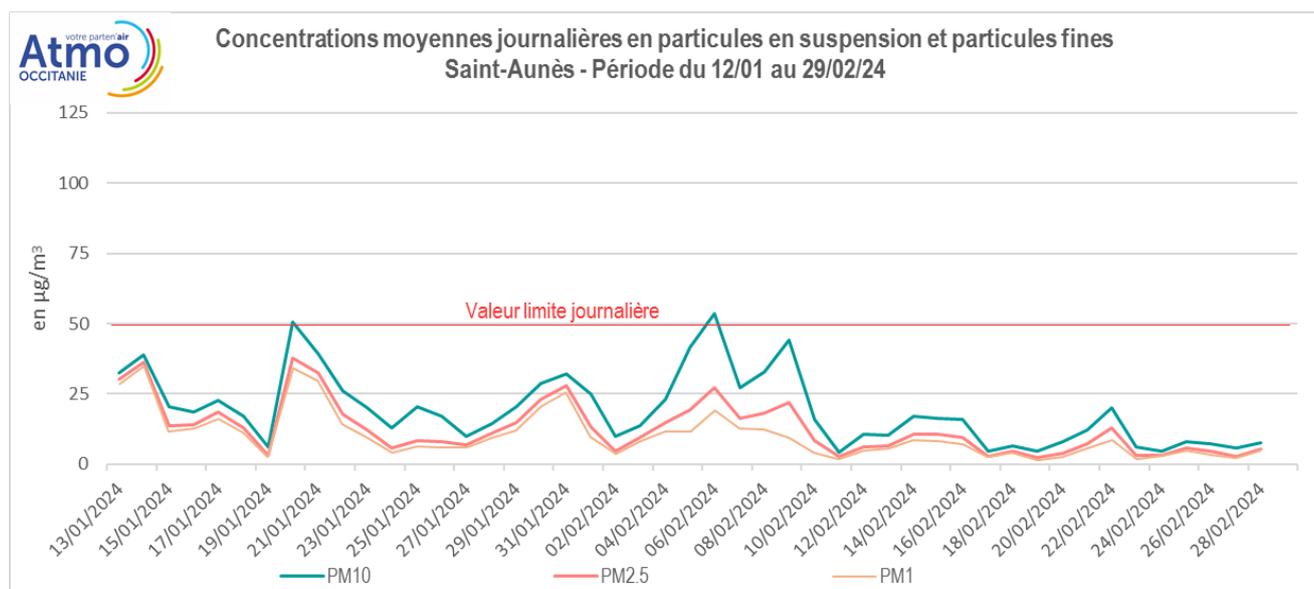
Si l'on compare aux stations de Montpellier, la **moyenne des 2 campagnes de mesures** avec la **moyenne annuelle 2024**, on constate que la moyenne annuelle est plus faible. La moyenne des 2 campagnes de mesure surestime donc la moyenne annuelle de l'année 2024.

➤ Comparaison aux seuils réglementaires PM₁₀

- La concentration moyenne en particules fines PM₁₀ à Saint-Aunès est largement inférieure à la valeur limite annuelle, fixée à 40 µg/m³.
- La valeur limite annuelle de 50 µg/m³ en moyenne journalière qui ne doit pas être dépassée plus de 35 jours par an devrait être également respectée, comme cela est le cas sur le reste de la région Occitanie.

Lors des 2 campagnes de mesures, les concentrations moyennes journalières en PM₁₀ ont été, durant 2 journées (20 janvier et 6 février 2024), supérieures à la valeur limite annuelle de 50 µg/m³ en moyenne journalière. Le 6 février, un épisode de pollution aux particules PM₁₀ était observé sur une large partie de l'Occitanie en raison de conditions météorologiques anticycloniques limitant la dispersion des émissions liées aux activités humaines (chauffage, trafic routier et émissions industrielles). La valeur limite annuelle devrait cependant être respectée sur l'année 2024.

Le 20 janvier, des événements festifs sur l'espèce Bessèdes (fête de la Sainte-Agnès) sont à l'origine d'une augmentation des concentrations en particules lié au grand nombre de personnes présentes sur cet espace et au revêtement du sol en sable stabilisé. Cet événement reste localisé à l'espace Bessèdes.



➤ Comparaison aux seuils réglementaires PM_{2,5}

- Sur la période de l'étude, la concentration en moyenne annuelle en particules fines PM_{2,5} est également inférieure à la valeur limite annuelle, fixée à 25 µg/m³.
- L'apport de particules provenant du chauffage couplé aux conditions météorologiques moins dispersives ont contribué à l'augmentation des niveaux de particules les plus fines en période hivernale. Cependant, l'objectif de qualité devrait probablement être respecté en moyenne annuelle.

En 2024, à Saint-Aunès, les valeurs limites annuelles en particules PM₁₀ et PM_{2,5} sont donc très probablement respectées.

4.2. Effets des merlons sur la qualité de l'air

4.2.1. Concentrations en particules fines au niveau des merlons

Les mesures par microcapteur, permettent un suivi des concentrations en particules, au niveau de chaque merlon. Ces mesures se sont déroulées en hiver du 13 janvier au 28 mars et en été du 1er juillet au 28 août 2024.

Localisation des mesures de particules par microcapteur - 2024



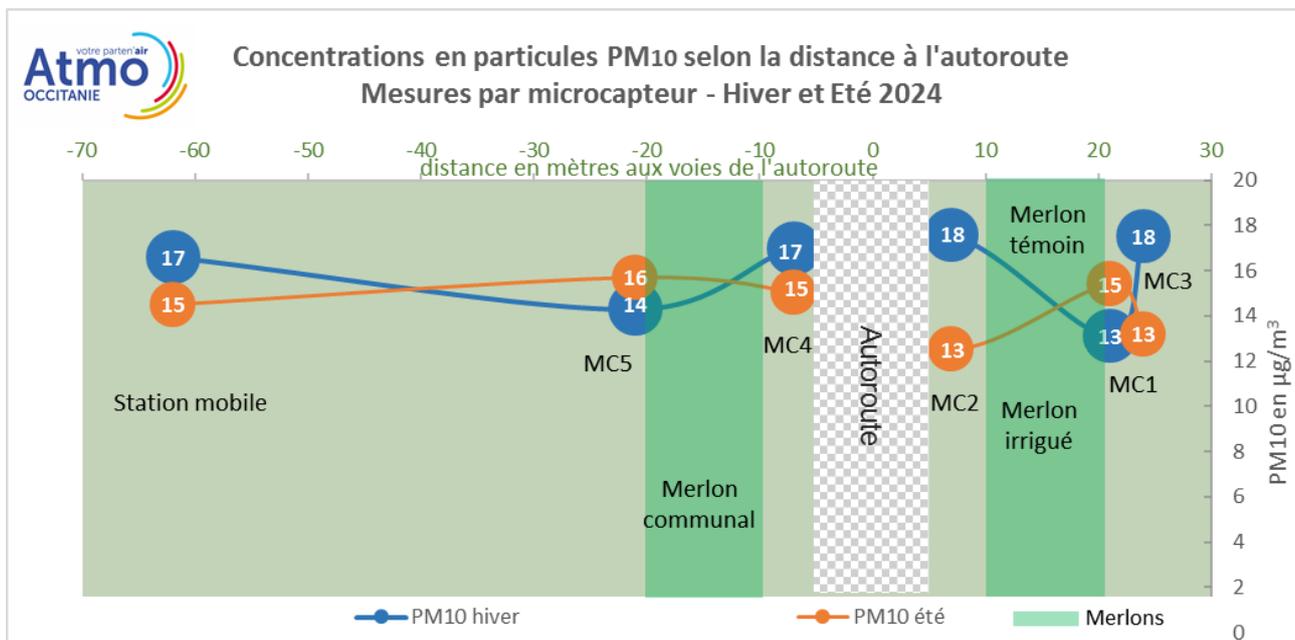
➤ Particules en suspension PM₁₀

PM ₁₀	Concentrations moyennes PM ₁₀ en µg/m ³ – 2024							
	Station mobile		Merlons témoin et irrigué			Merlon communal		Montpellier
	Analyseur FIDAS	MC toit station	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	Station Près d'Arènes
13/01 au 28/03	16,6	16,6	13,1	17,6	17,5	17,0	14,3	18,3
01/07 au 28/08	14,5	14,5	15,4	12,5	13,2	15,0	15,7	16,2

- Les concentrations sont globalement plus élevées en hiver, ce qui est cohérent avec une augmentation des émissions liées au chauffage et des conditions météorologiques favorisant l'accumulation des particules (inversions thermiques, faible dispersion).
- En hiver, l'influence des merlons est plus visible sur les concentrations en PM₁₀:
 - Merlon communal (MC4-MC5) : Les concentrations sont plus élevées au bord de l'autoroute (17 µg/m³ sur le site MC4 contre 14 sur le site MC5 à l'arrière du merlon)
 - Merlons témoin (MC1-MC2) : Les niveaux au bord de l'autoroute (MC2) sont supérieurs à ceux mesurés à l'arrière du merlon (MC1).
- Les valeurs mesurées à Saint-Aunès sont systématiquement plus faibles que celles mesurées en fond urbain de Montpellier à la station de Près d'Arènes (18,2 µg/m³ en hiver et 16,2 µg/m³ en été).

Les merlons semblent jouer le rôle d'écran en hiver avec des concentrations en particules PM₁₀ plus faibles à l'arrière des merlons. Cependant, ce n'est pas le cas en été, ce qui ne permet pas de conclure sur les effets des merlons sur les concentrations de PM₁₀.

La figure suivante montre les différences entre chaque site au niveau des merlons.

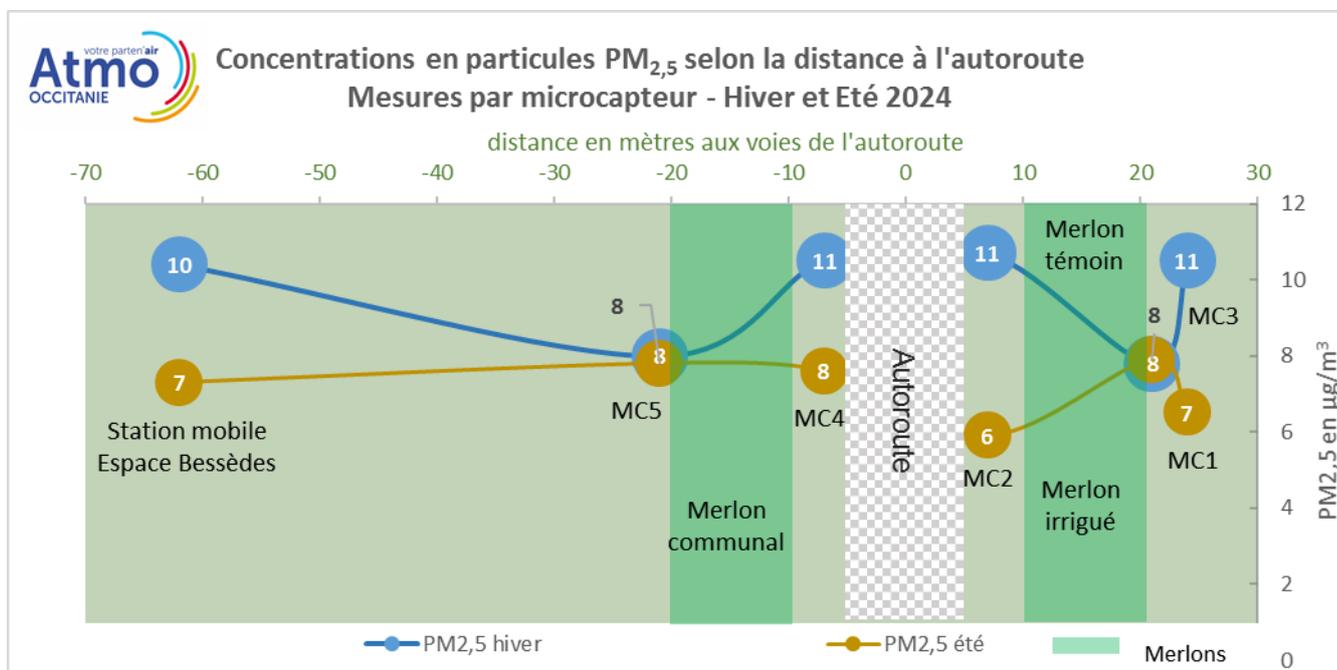


➤ Particules fines PM_{2,5}

PM _{2.5}	Concentrations moyennes PM _{2.5} en µg/m ³ – 2024							
	Station mobile		Merlons témoin et irrigué			Merlon communal		Montpellier
	Analyseur FIDAS	MC toit station	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	Station Près d'Arènes
21/01 au 31/03	10,4	10,4	7,8	10,7	10,5	10,4	8,0	11,3
08/07 au 30/09	7,3	7,3	7,9	5,9	6,5	7,6	7,8	8,3

- Comme pour les particules en suspension, à Saint-Aunès, les concentrations en particules fines PM_{2,5} sont globalement plus élevées en hiver.
- En hiver, on observe derrière les merlons (MC1 et MC5) des concentrations plus faibles que devant les merlons coté autoroute.
- Les valeurs mesurées à Saint-Aunès sont systématiquement plus faibles que celles mesurées en fond urbain de Montpellier à la station de Près d'Arènes (11,3 µg/m³ en hiver et 8,3 µg/m³ en été).

On peut visualiser sur la figure suivante la faible différence de concentrations en particules fines PM_{2,5} en été entre les sites de mesures.

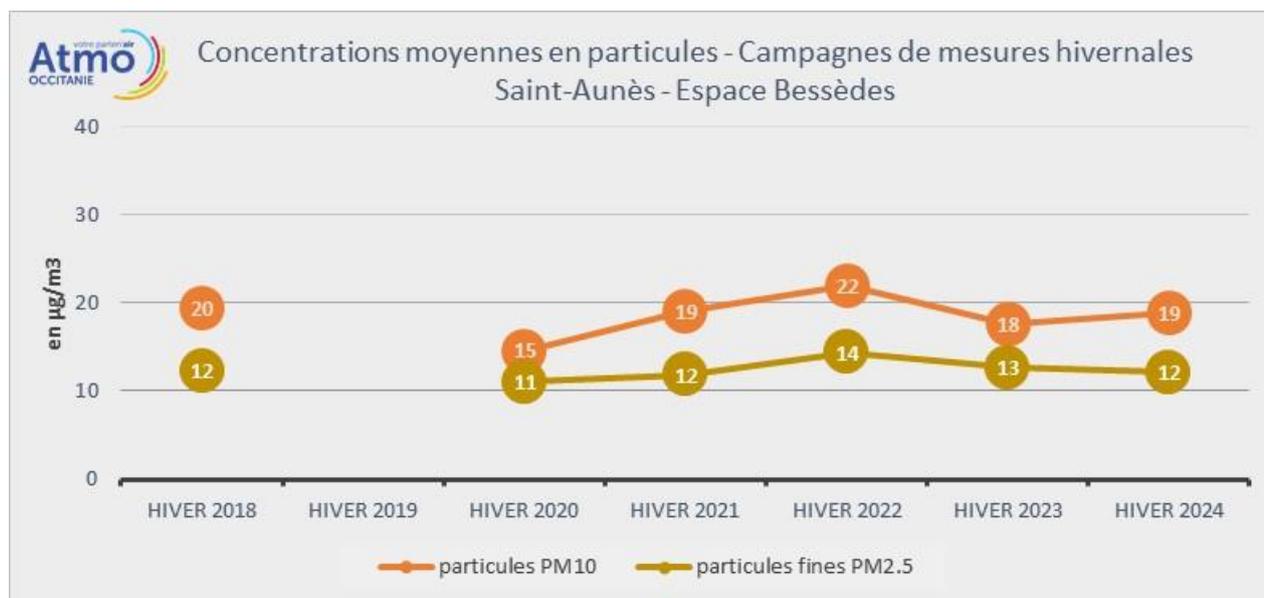


Les évolutions temporelles sur ces différents sites sont présentées en annexe 11. On observe des évolutions semblables liées à l'évolution du niveau de fond lui-même influencé par plusieurs sources d'émissions dont celles du trafic routier. L'influence de l'autoroute, sur les concentrations en particules, n'est pas aussi marquée que pour les concentrations en NO₂.

4.3. Evolution des concentrations en particules depuis le début des mesures

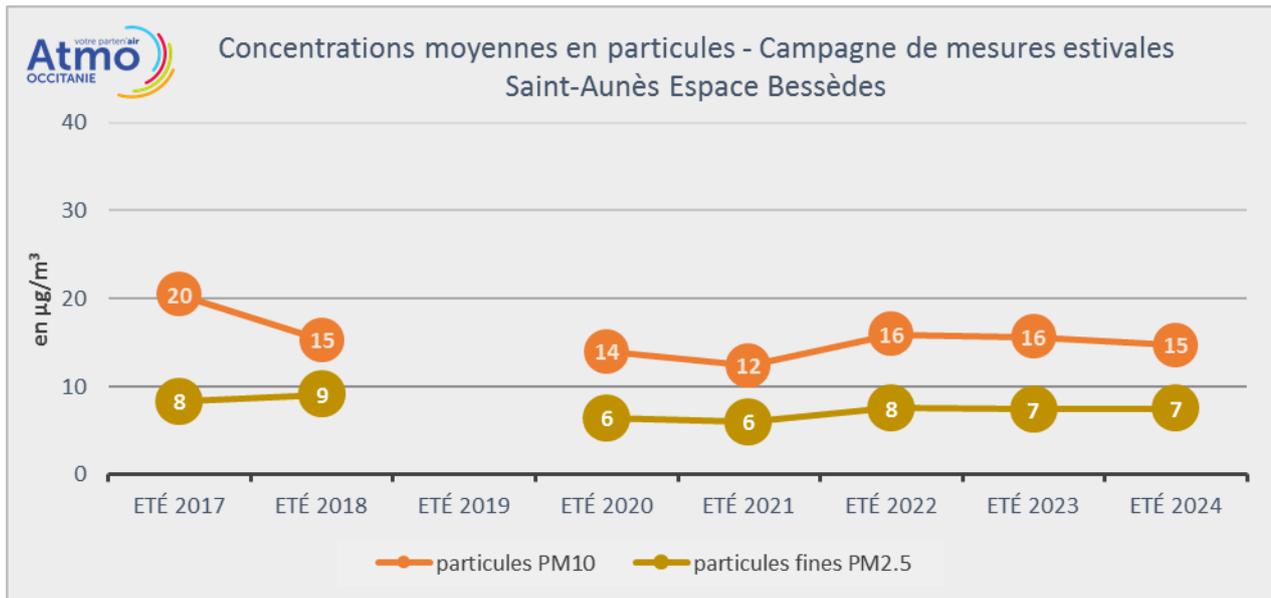
Les graphiques suivants présentent les moyennes des concentrations observées pour chaque campagne de mesure depuis 2017 pour les périodes d'été et depuis 2018 pour les périodes hivernales. Ces mesures sont réalisées au niveau de la station de mesure installée sur l'espace Bessèdes.

➤ PM₁₀



Depuis 2018, sur le site urbain de Saint-Aunès les niveaux de particules PM₁₀ les plus faibles ont été observés lors de l'hiver 2020 pendant la crise sanitaire, et les plus élevés lors de l'hiver 2022.

En été, les concentrations en particules diminuent généralement par rapport à la saison froide, ce qui est observé également à Saint-Aunès, en lien avec les conditions météorologiques plus dispersives et la diminution des émissions issues du chauffage résidentiel.

➤ PM_{2.5}

Depuis 2018, sur le site urbain de Saint-Aunès les niveaux de particules fines PM_{2.5} les plus faibles ont été observés lors de l'hiver 2021, et les plus élevés lors de la première année de mesures en 2017.

Comme pour les particules PM₁₀, il n'est pas observé de tendance significative depuis le début des mesures. Les fluctuations annuelles sont plus à relier aux conditions météorologiques qu'aux sources d'émissions.

5. Conclusions et perspectives

➤ Conclusions

Cette 8^{ème} année de suivi des concentrations en NO₂ et particules fines permet de confirmer une amélioration de la qualité de l'air au niveau de la zone d'étude, et cela depuis 2019.

La baisse des concentrations de NO₂ enclenchée en 2020 avec la crise sanitaire, s'est poursuivie depuis. Les concentrations moyennes sont légèrement remontées en 2022 puis à nouveau ont diminué en 2023 et 2024. Les niveaux en NO₂ en 2024 sont, pour la cinquième année, inférieurs à ceux de 2019 et inférieurs également aux niveaux de 2020.

En moyenne, les **concentrations de NO₂ les plus élevées sont mesurées en 2019** et les **plus faibles en 2023**.

Les **concentrations en particules** sur la zone d'étude **restent quant à elles influencées par les niveaux de fond en raison de l'effet multi-sources de ces polluants**. Les concentrations fluctuent d'année en année sans que cela puisse s'expliquer par la présence de merlons et de l'autoroute.

➤ Rôle des merlons

Comme les années précédentes, les effets d'abattement des concentrations en NO₂ à l'arrière de chaque merlon sont importants, pouvant atteindre 55% du côté merlon communal. Ainsi, le rôle d'écran des merlons mais aussi des murs anti-bruits est confirmé par la modélisation et explique les décroissances rapides notamment en NO₂ à l'arrière des merlons.

➤ Rôle des végétaux

L'étude par modélisation 3D a été menée avec les conditions météorologiques de l'année 2022. La hauteur et la densité des végétaux sont prises en compte sans tenir compte des différentes espèces. Les distances à l'autoroute et la hauteur des merlons sont des données du calcul 3D. Ces résultats sont donc spécifiques à la zone d'étude étudiée. Les principales conclusions de ce calcul sont les suivantes :

- La modélisation fine échelle 3D a permis de mieux évaluer la dispersion du NO₂ et des particules au niveau des merlons lorsqu'il y a des végétaux. Les végétaux, comme des obstacles dans l'écoulement de l'air, auraient pour effet de disperser verticalement les panaches. Cette conséquence se trouve ici additionnée aux effets des merlons qui jouent également ce rôle.

Ainsi, on observe, à l'arrière du merlon communal, des concentrations de NO₂ qui pourraient diminuer d'environ 5 µg/m³ du fait de la présence de végétaux adultes (environ 2,50 m) sur l'ensemble du merlon et de la densité de végétaux. Ce merlon est également plus haut que le merlon témoin et le merlon irrigué.

Sur le merlon témoin et irrigué, moins végétalisés que le merlon communal, les résultats sont moins marqués. On observe toutefois une légère élévation du panache de NO₂.

- Pour les concentrations en particules, le rôle des végétaux dans l'élévation des panaches n'est pas mis en évidence de façon significative. Le panache s'élèverait dans une faible proportion ne permettant pas la diminution des concentrations à l'arrière du merlon.

➤ Perspectives pour les prochaines années

La surveillance sera poursuivie en 2025 avec :

- une nouvelle campagne des particules fines (PM_{10} , $PM_{2,5}$) par microcapteurs en hiver et en été 2025,
- une campagne de mesure par station mobile des particules fines (PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_{1}) et du NO_2 ,
- une campagne par échantillonneurs passifs NO_2 sur les mêmes sites que ceux étudiés en 2024.

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 :	Moyens déployés sur les 10 années de l'étude
ANNEXE 2 :	L'inventaire régional des émissions
ANNEXE 3 :	Les polluants
ANNEXE 4 :	Conditions météorologiques
ANNEXE 5 :	Mesures par analyseur automatique
ANNEXE 6 :	Mesures par échantillonneurs passifs NO₂
ANNEXE 7 :	Résultats par campagne – Echantillonneurs passifs NO₂
ANNEXE 8 :	Concentrations en NO₂
ANNEXE 9 :	Concentrations en Particules PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁
ANNEXE 10 :	Protocole de mesure par microcapteur PM₁₀, PM_{2.5}
ANNEXE 11 :	Résultats des mesures PM₁₀ et PM_{2.5} par microcapteur
ANNEXE 12 :	Modélisation 3D MISKAM – Option végétaux

ANNEXE 1 : Moyens déployés sur les 10 années de l'étude

Les données d'observations seront collectées sur une période de 10 années (2017 à 2026). Les campagnes de mesures se déroulent chaque année à 2 saisons aux conditions météorologiques contrastées.

Dispositifs de mesures déployés

Le tableau suivant, présente, le dispositif d'évaluation déployé sur la zone d'étude entre 2017 et 2020 ainsi que les périodes de mesure.

	Mesures par microcapteurs	Mesures par analyseurs automatiques (station mobile – Espace Bessèdes)	Mesures par tubes passifs NO ₂
2017 : état initial	26/04 au 04/09/2017	13/03 au 23/05/2017 14/06 au 04/09/2017	01/03 au 26/04/2017 21/06 au 16/08/2017
2018 : état initial	23/01 au 30/03/2018 et 12/07 au 24/10/2018	22/01 au 06/04/2018 et 12/07 au 24/10/2018	18/01 au 15/03/2018 et 11/07 au 06/09/2018
2019	22/02 au 14/05/2019 et 02/08 au 26/09/2019	-	22/02 au 14/05/2019 et 02/08 au 26/09/2019
2020	*	12/02 au 30/09/2020**	07/02 au 17/03/2020*** 10/07 au 03/09/2020
2021	01/07/2021 au 31/08/2021	05/02/2021 au 09/04/2021 01/07/2021 au 31/08/2021	05/02/2021 au 01/04/2021 01/07/2021 au 27/08/2021
2024	21/01/2024 au 31/03/2024 09/07/2024 au 30/09/2024	20/01/2024 au 06/04/2024 24/06/2024 au 31/08/2024	18/01/2024 au 16/03/2024 22/06/2024 au 18/08/2024
2025 à 2026	X	X	X

* En 2020, suite à l'arrêt du suivi des microcapteurs par l'entreprise Ecologicsence, il n'a pas été possible d'installer des microcapteurs sur les sites.

** Les mesures automatiques n'ont pas été interrompues entre les campagnes hiver et été.

*** Les mesures par échantillonneurs passifs se sont arrêtées le 18 mars 2020 suite à la mise en place du premier confinement.

Les objectifs par dispositif sont présentés dans le tableau suivant :

Objectifs de chaque dispositif		
<p>Analyseurs automatiques NO₂ et particules fines</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Variations horaires des concentrations - Détection des particules les plus fines (spectromètre d'aérosol optique) - Assurance qualité : validation des mesures par échantillonneurs et microcapteurs par la comparaison aux mesures automatiques (méthode de référence) /Echantillonneurs passifs et microcapteurs 	
<p>Microcapteurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Complémentaires au dispositif de mesures - Variations horaires des concentrations - Mesures sur plusieurs sites sur les merlons au niveau des haies 	
<p>Echantillonneurs passifs NO₂</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Variations spatiales des concentrations - Multiplication des points de prélèvements dont sites sur les merlons permettant de couvrir une large zone 	

ANNEXE 2 : L'inventaire régional des émissions polluantes et des GES

Dans le cadre de l'arrêté du 24 août 2011 relatif au Système National d'Inventaires d'Emissions et de Bilans dans l'Atmosphère (SNIEBA), le Pôle de Coordination nationale des Inventaires Territoriaux (PCIT) associant :

- le Ministère en charge de l'Environnement,
- l'INERIS,
- le CITEPA,
- les Associations Agréées de Surveillance de Qualité de l'Air ;

a mis en place un guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques.

Ce guide constitue la référence nationale à laquelle chaque acteur local doit pouvoir se rapporter pour l'élaboration des inventaires territoriaux.

Sur cette base et selon les missions qui lui sont ainsi attribuées, Atmo Occitanie réalise et maintient à jour un Inventaire Régional Spatialisé des émissions de polluants atmosphériques et GES sur l'ensemble de la région Occitanie. L'inventaire des émissions référence une trentaine de substances avec les principaux polluants réglementés (NO_x, particules en suspension, NH₃, SO₂, CO, benzène, métaux lourds, HAP, COV, etc.) et les gaz à effet de serre (CO₂, N₂O, CH₄, etc.).

Cet inventaire est notamment utilisé par les partenaires d'Atmo Occitanie comme outil d'analyse et de connaissance détaillée de la qualité de l'air sur leur territoire ou relative à leurs activités particulières.

Les quantités annuelles d'émissions de polluants atmosphériques et GES sont ainsi calculées pour l'ensemble de la région Occitanie, à différentes échelles spatiales (EPCI, communes, ...), et pour les principaux secteurs et sous-secteurs d'activité.

La méthodologie de calcul des émissions consiste en un croisement entre des données primaires (statistiques socioéconomiques, agricoles, industrielles, données de trafic...) et des facteurs d'émissions issus de bibliographies nationales et européennes.

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} * F_{s,a}$$

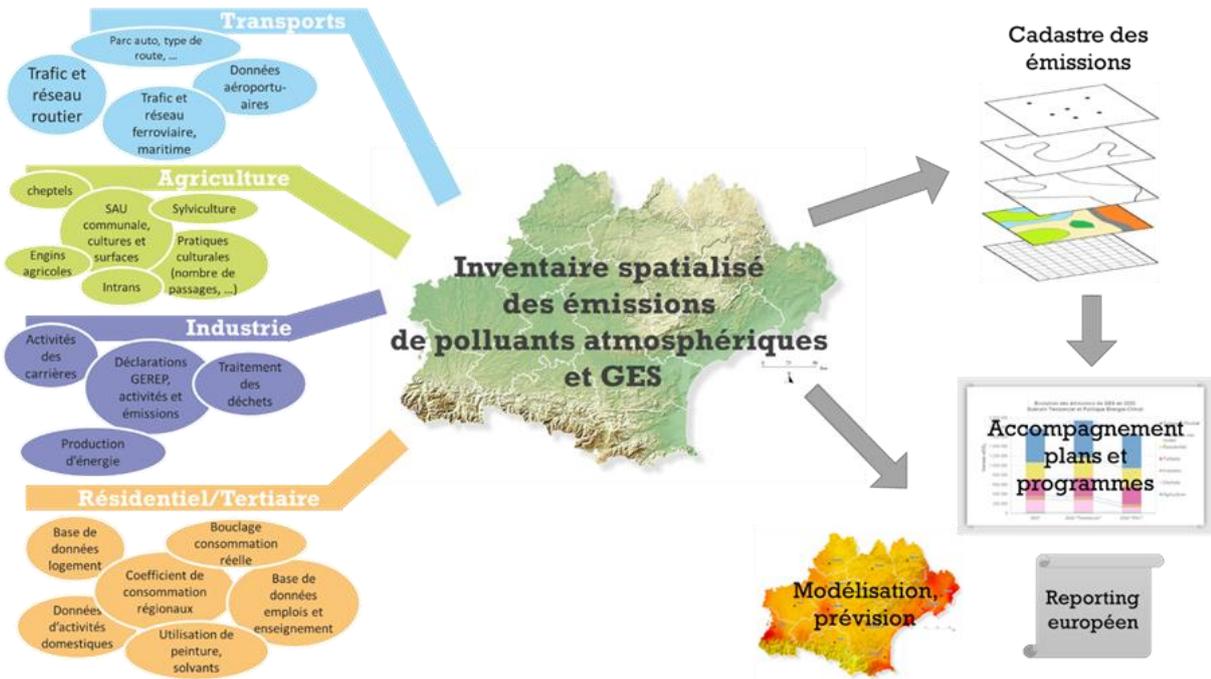
Avec :

E : émission relative à la substance « s » et à l'activité « a » pendant le temps « t »

A : quantité d'activité relative à l'activité « a » pendant le temps « t »

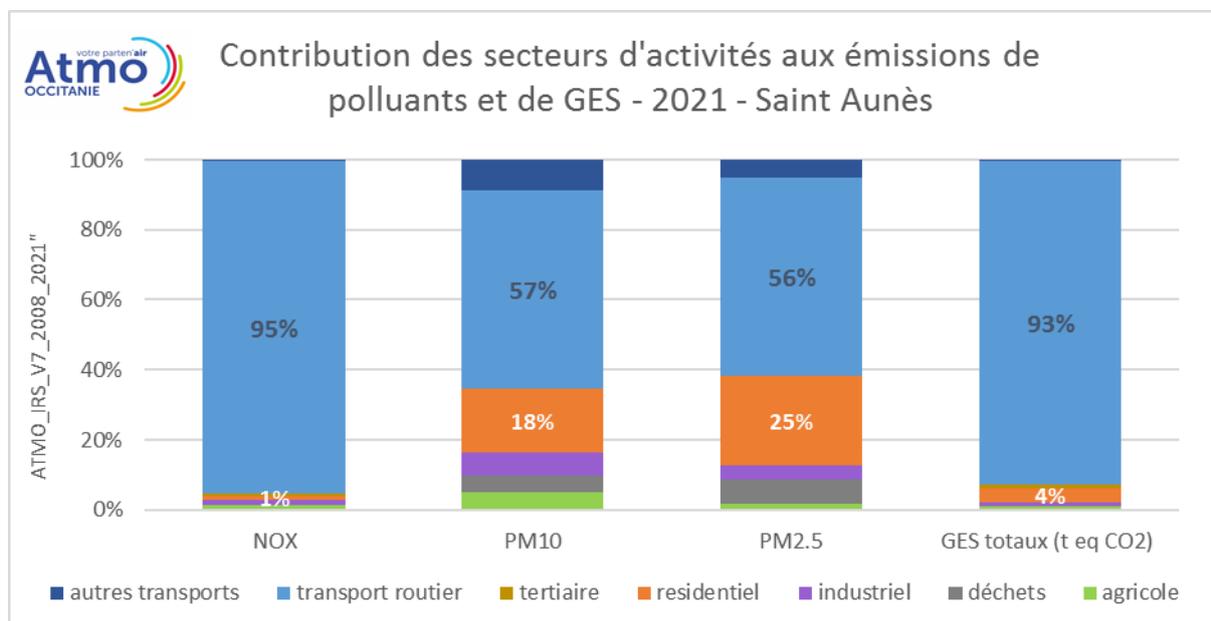
F : facteur d'émission relatif à la substance « s » et à l'activité « a »

Ci-dessous un schéma de synthèse de l'organisation du calcul des émissions de polluants atmosphériques et GES :



ANNEXE 3 : Polluants étudiés

Sur la période de l'étude (2017-2026), les polluants mesurés sont des polluants principalement émis par la pollution routière.



Les oxydes d'azote

Le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO₂ sont émis lors de la combustion incomplète des combustibles fossiles. Le NO se transforme rapidement en NO₂ au contact des oxydants présents dans l'air, comme l'oxygène et l'ozone.

En 2021, le secteur du **transport routier contribue pour 95% aux émissions de NOx** sur Saint-Aunès.

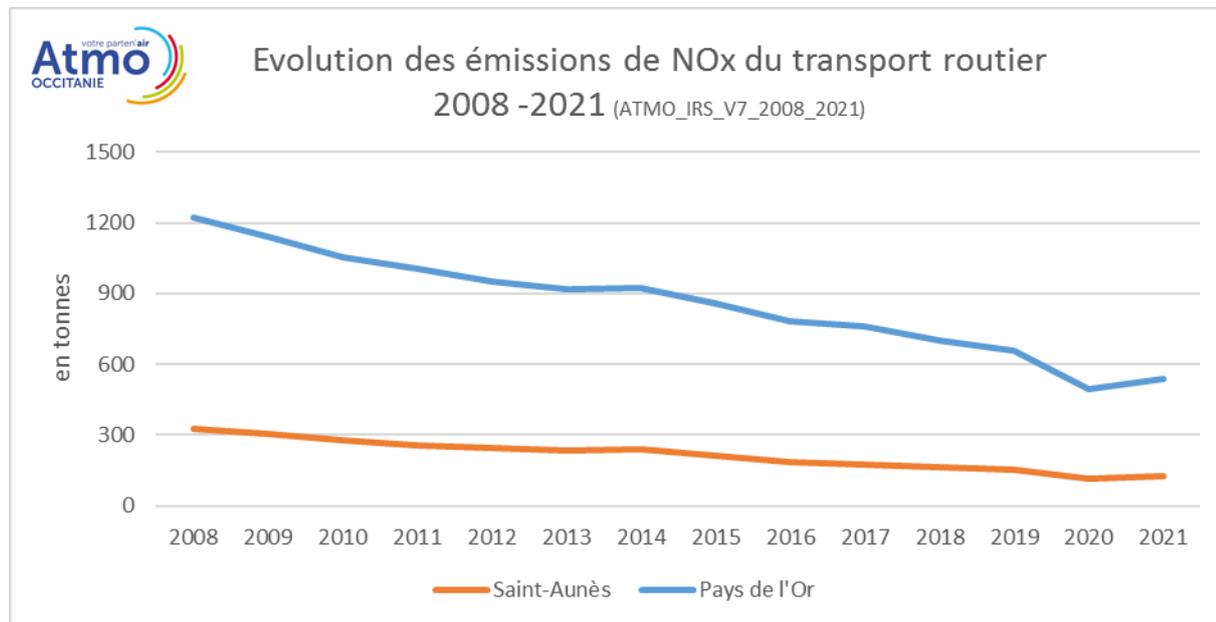
Les particules fines PM₁, PM_{2.5} et les particules en suspension PM₁₀ dont le diamètre est respectivement inférieur à 1, 2,5 et 10 micromètres.

Elles ont plusieurs origines :

- les émissions directes dans l'atmosphère provenant de sources anthropiques (transport, chauffage résidentiel, industries, ...) ou naturelles (remise en suspension de particules par vent fort, érosion, poussières sahariennes, embruns marins...),
- les transformations chimiques à partir de polluants gazeux (particules secondaires). Par exemple, dans certaines conditions, le dioxyde d'azote associé à l'ammoniac pourra se transformer en particules de nitrates et le dioxyde de soufre en sulfates,
- les remises en suspension des particules qui s'étaient déposées au sol sous l'action du vent ou par les véhicules le long des axes routiers.

En 2021, le secteur du **transport routier contribue pour 57% aux émissions de particules en suspension PM₁₀** sur Saint-Aunès. Le secteur résidentiel représente 18 % des émissions de particules PM₁₀ et le secteur autres transports (ferroviaire) 9% des émissions.

En 2021, le secteur du **transport routier contribue également pour 56% aux émissions de particules fines PM_{2.5}**. Le **secteur résidentiel est le deuxième contributeur** avec 25% des émissions.



Entre 2008 et 2021, sur la commune de Saint-Aunès, les émissions de NOx du secteur du transport routier ont diminué de 62%. La plus grande part de ces émissions provient de l'autoroute.

ANNEXE 4 : Conditions météorologiques pendant l'étude

Les directions et vitesses du vent influent sur les conditions de dispersion des polluants dans l'atmosphère. Les épisodes pluvieux vont également permettre le lessivage de l'atmosphère et limiter les concentrations de particules et de NO₂ dans l'air.

Les données météorologiques (température, pluviométrie, vitesse et direction du vent) sont issues de la station Météo France de Mauguio, la plus proche de la zone d'étude, à environ 7 kilomètres au Sud de la commune de Saint-Aunès.

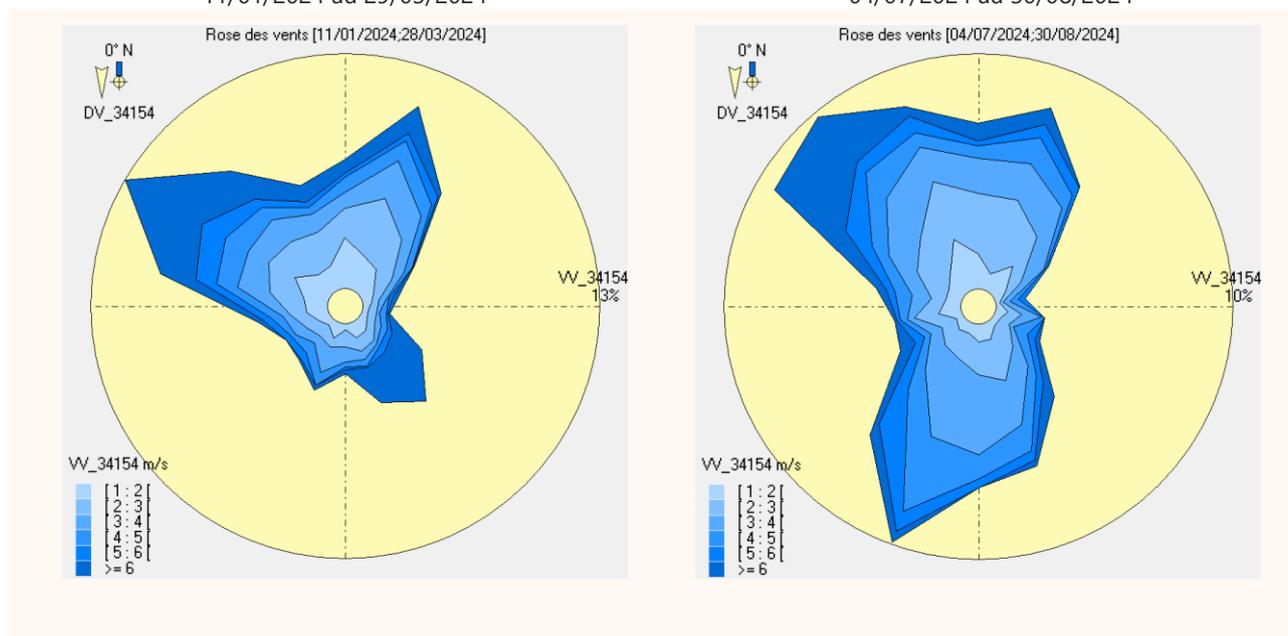
1. Régime des vents

- Sur la première période de l'étude (11/01 au 28/03/24), les vents sont variables, faibles (62% du temps les vents sont inférieurs à 15 km/h) et modérés à fort 38% du temps provenant majoritairement du Nord-Nord-Ouest.
- Sur la période estivale, les régimes de vent sont différents. Les vents de Nord et d'Ouest/Nord-Ouest sont majoritaires (42 % du temps). Les vents du Sud à Sud Sud-Ouest sont également importants (environ 34% du temps). Ces vents sont majoritairement faibles (moins de 15 km/h 66% du temps).

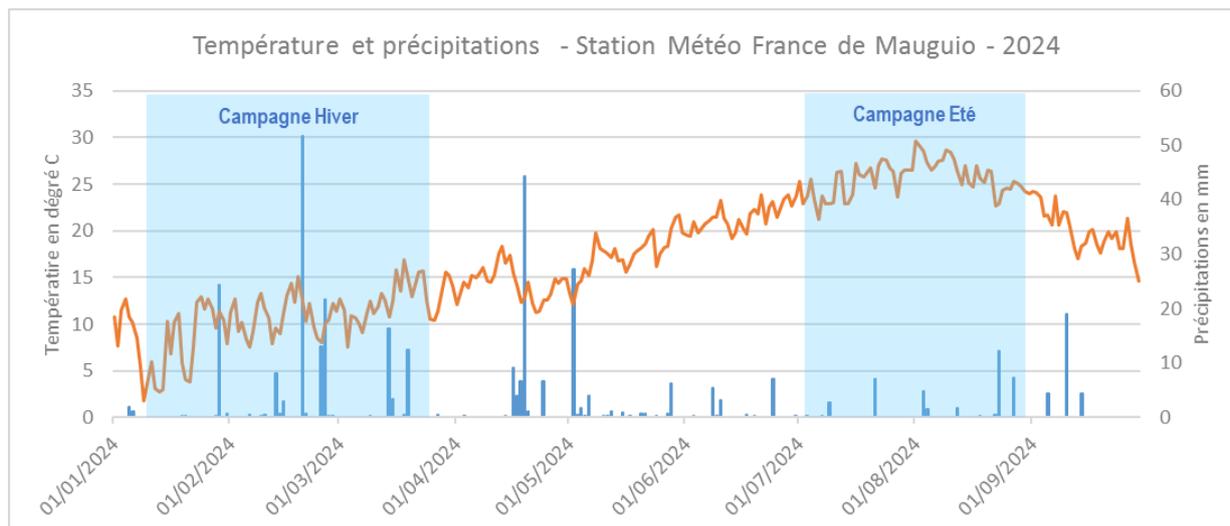
Rose des vents Météo France Mauguio (34)
Pourcentage des occurrences par direction et classe de vent

11/01/2024 au 29/03/2024

04/07/2024 au 30/08/2024



2. Pluviométrie et température



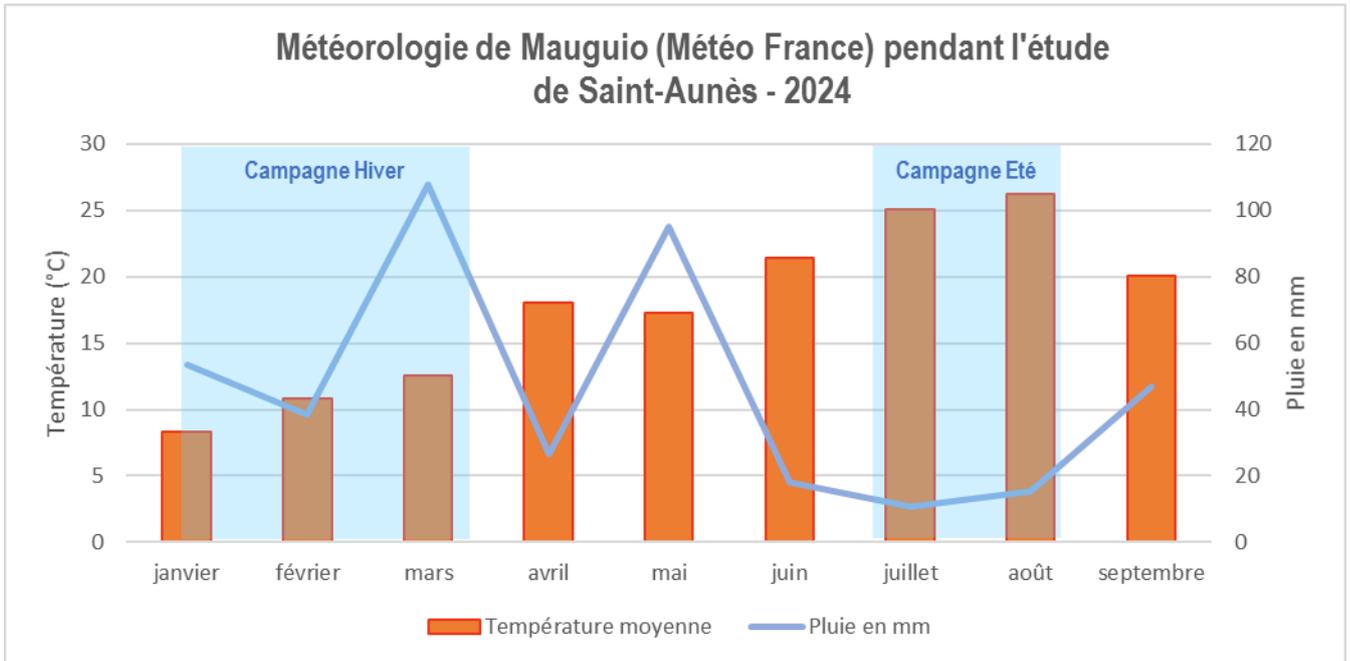
4 - Météorologie mensuelle

Sur l'ensemble de la période d'étude, les cumuls mensuels de précipitation sont importants sur la période hivernale avec un total de 163 mm entre le 11 janvier et le 29 mars 2024 dont 108 mm de précipitations sur le mois de mars.

En Juillet et août 2024, les cumuls sont faibles, avec un total de 26 mm sur ces 2 mois.

Pour information, **la moyenne de ces 20 dernières années** sur la zone de Montpellier est **750 mm par an**.

En 2024, le total de précipitations enregistré à la station Météo France de Mauguio a été de 559 mm, soit très en dessous de la moyenne de ces 20 dernières années.



ANNEXE 5 : Mesures par analyseurs automatiques

1. Mesure des particules PM10, PM2,5 et PM1

GRANULOMÈTRE OPTIQUE POUR LE SUIVI TEMPS RÉEL ET CONTINU DES FRACTIONS PM-2,5 ET PM-10 FIDAS 200

Catégorie : [Analyseurs](#)

Secteur : [Environnement](#)

Modèle : Granulomètre optique FIDAS 200

Fabricant : PALAS



Le granulomètre FIDAS 200 est le seul analyseur optique au monde à avoir été certifié par le TÜV pour la mesure réglementaire en continu et en temps réel des fractions PM-10 et PM-2,5, simultanément.

De plus, depuis 2016, l'analyseur a été reconnu conforme par le LCSQA pour la surveillance des polluants réglementaires PM-10 et PM-2,5.

L'analyseur fournit également en temps réel et simultanément les informations :

- concentration en nombre
- granulométrie entre 0,18 et 18 µm selon 64 classes de taille
- fractions massiques PM1, PM4 et TSP
- paramètres météorologiques : température, humidité relative, pression, direction et vitesse du vent

Sur tous les modèles, un porte-filtre 47mm est présent sous la cellule de mesure optique. En y installant un filtre absolu il est possible de réaliser des analyses chimiques à posteriori pour caractériser les sources.

Le système FIDAS 200 existe en plusieurs versions selon les utilisations (FIDAS 200 E, FIDAS 200 S), toutes reconnues conformes par le LCSQA.

2 - Mesure du dioxyde d'azote

Analyseur	
Nom et polluant mesuré	AC32M (mesures de NOx)

Les mesures de NO_x ont été réalisées conformément à la norme **NF EN 14211**.

ANNEXE 6 : Mesures par échantillonneurs passifs

Un échantillonneur passif est un capteur contenant un adsorbant adapté au "piégeage" spécifique de certains polluants gazeux. Cette méthode de mesure permet d'installer un grand nombre de capteurs sur une zone d'étude et ainsi d'étudier la variation spatiale des concentrations.

Les mesures par échantillonneurs passifs sont réalisées conformément au guide de recommandation du LCSQA² "Adaptation des plans d'échantillonnage aux objectifs de campagne".

1. Principe général

Ces méthodes de mesure ont été validées par le laboratoire européen ERLAP (European Reference Laboratory of Air Pollution) et par le groupe de travail national ad hoc (Echantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote » ; ADEME/LCSQA/Fédération ATMO ; 2002).

Le principe général de l'échantillonneur passif consiste en un capteur contenant un adsorbant ou un absorbant adapté au piégeage spécifique d'un polluant gazeux. Le polluant gazeux est transporté par diffusion moléculaire à travers la colonne d'air formée par le tube jusqu'à la zone de piégeage où il est retenu et accumulé sous la forme d'un ou plusieurs produits d'adsorption/d'absorption. Dans la pratique, l'échantillonneur est exposé dans l'air ambiant, puis ramené au laboratoire où l'on procède ensuite à l'extraction et à l'analyse des produits d'adsorption/d'absorption.

2. Limites

Cette technique ne convient pas pour les échantillonnages de courte durée, sauf pour les concentrations élevées de polluants. Des erreurs sont possibles lors de fluctuations rapides de concentration (par exemple lors de pics de pollution). C'est pourquoi la quasi-totalité des tubes étudiés sera placée dans des situations dites "urbaines", à savoir à une certaine distance (quantifiée) des voies de plus fort trafic.

L'incertitude liée à cette technique, qui peut être importante, n'est pas quantifiable de manière simple. Compte tenu de cette incertitude, il est primordial de ne pas ensuite attribuer aux interprétations et cartographies produites davantage de précision que cette technique ne le permet.

Un certain nombre de paramètres météorologiques a une influence, non seulement sur la teneur en polluant (exemples simples : la pluie lave l'atmosphère, un vent fort disperse les polluants...), mais également sur la mesure par échantillonneurs passifs : ces derniers sont dépendants de la vitesse du vent et, dans une moindre mesure, de la température et de l'humidité de l'air. Il est donc essentiel de bien connaître les principaux paramètres météorologiques, quinzaine par quinzaine.

² Laboratoire Central de Surveillance de la qualité de l'Air

3. Représentativité temporelle

Définir la représentativité d'une campagne consiste à définir dans quelles conditions (temporelles, spatiales et météorologiques), on peut considérer que les concentrations mesurées sont scientifiquement valides et comparables aux valeurs réglementaires, d'une part et à d'autres campagnes de mesure, d'autre part.

Dans le cadre de mesures indicatives, les Directives Européennes demandent une couverture minimale de 14% du temps (soit 8 semaines pour une année). Ainsi, dans le cas d'une étude par échantillonneurs passifs, et compte tenu des capteurs utilisés, ATMO Occitanie choisit fréquemment de travailler :

- soit pendant deux saisons contrastées,
- soit pendant toutes les saisons et, à chacune de ces saisons, de procéder à des mesures pendant au moins 1 mois.

4. Tubes passifs pour le NO₂

Dans le cas du NO₂, ce polluant est piégé par absorption dans une solution de triéthanolamine.

Cet dispositif se présente sous la forme d'un petit tube de dimensions calibrées, à l'extrémité duquel sont placées deux grilles imprégnées d'une substance ayant la propriété de fixer le dioxyde d'azote. Le tube est placé verticalement sur un support, l'extrémité inférieure du tube étant ouverte. Le support du tube est placé dans une boîte ouverte (voir photographie ci-contre), afin de le protéger des intempéries et de limiter l'influence du vent. L'air circule dans le tube selon la loi de diffusion de Fick. Le tube est exposé durant 14 à 28 jours.

Éléments composant le tube



Tube dans sa boîte de protection



Après cette période d'exposition, le dioxyde d'azote est analysé a posteriori par un dosage colorimétrique qui permet de connaître la concentration du NO₂ dans l'air ambiant. La préparation, la pose, le ramassage puis l'analyse des tubes sont réalisés par ATMO Occitanie.

ANNEXE 7 : Résultats par campagne – Mesures par échantillonneurs passifs NO₂

Localisation des sites de mesures par échantillonneurs passifs NO₂ – Saint-Aunès - 2024



Dates des tournées		
Série 1	12/01/2024	08/02/2024
Série 2	04/07/2024	01/08/2024
Série 3	01/08/2024	29/08/2024

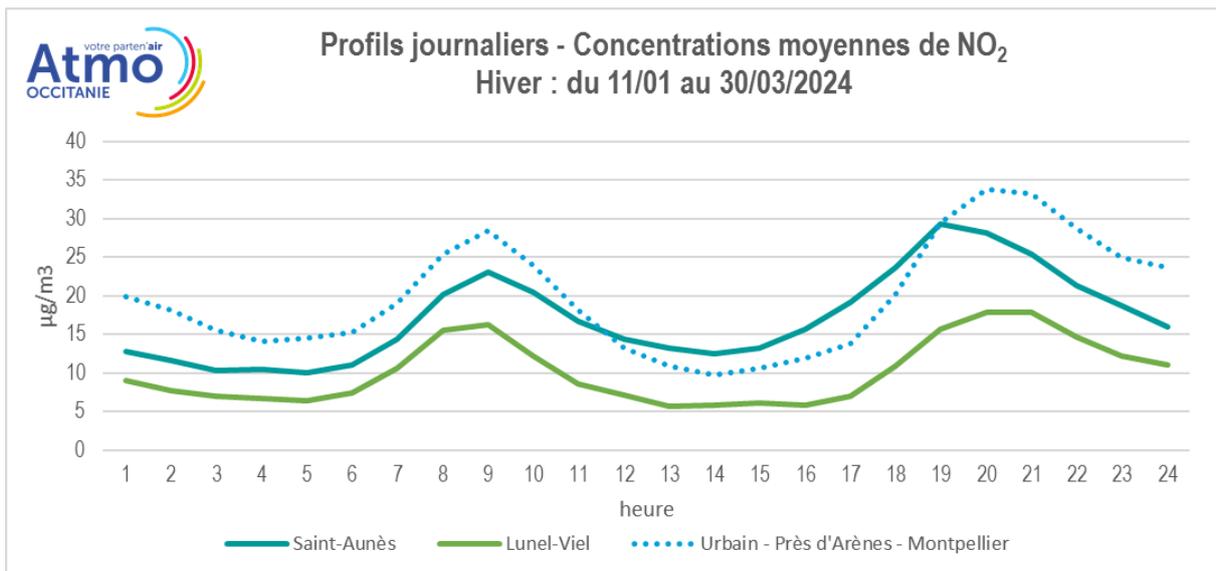
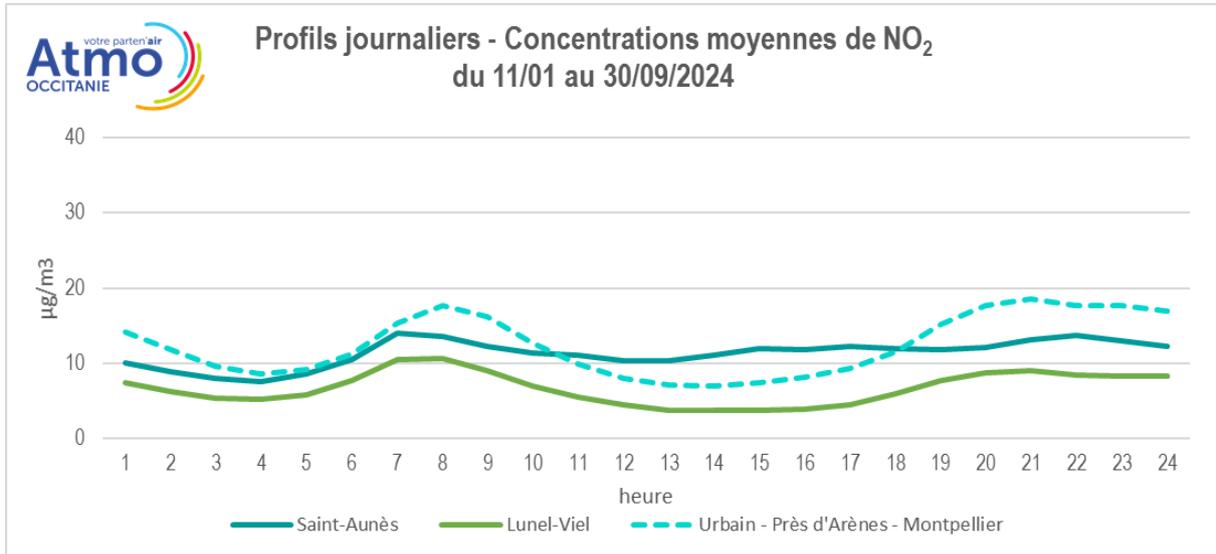
* Les données des séries 1 à 3 ainsi que la moyenne ne sont pas corrigées.

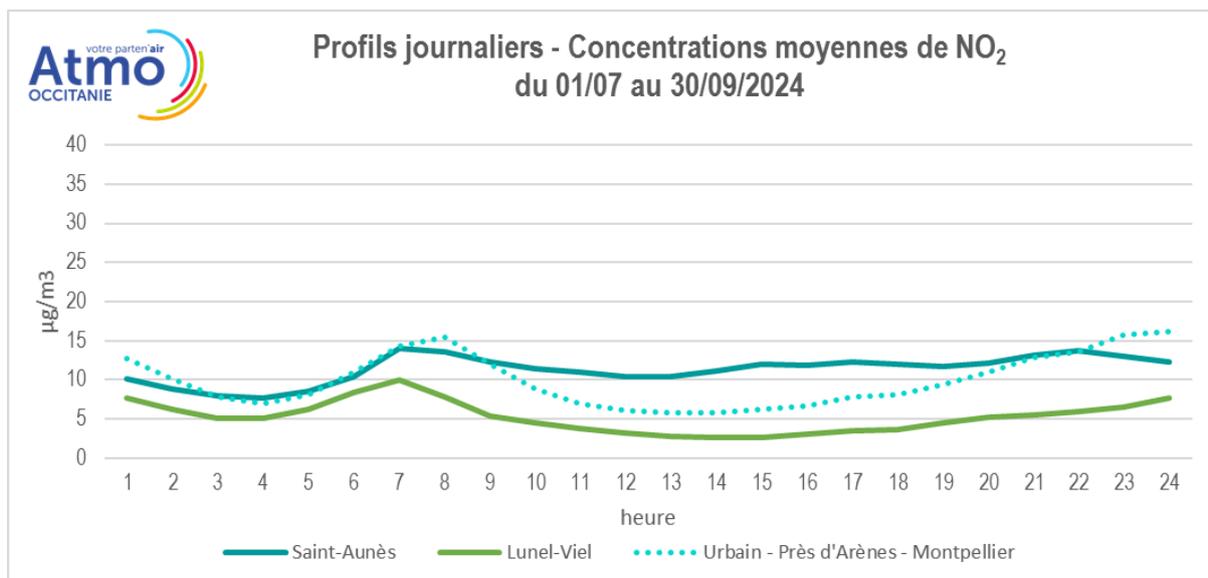
N° site	Emplacement	Type site	Serie 1*	Serie 2*	Serie 3*	Moyenne brute en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MC1	Intérieur ASF derrière le merlon sens Montpellier - Lyon	T	13	13	invalidé	13
MC2	Intérieur ASF devant le merlon sens Montpellier - Lyon	T	33	24	16	24
MC3	Derrière le merlon dans la descente (accès depuis le pont)	T	24	17	15	19
MC4	Intérieur ASF devant le merlon sens Lyon - Montpellier	T	39	43	36	39
MC5	Terrain remorque Espace Bessèdes au bord du merlon	Urbain influencé T	19	15	13	15
MC6	ZA Leroy Merlin sur réverbère	Urbain influencé T	22	14	14	17
Mtp_08_509	Transect St-Aunès pont A9	T	30	25	24	26
Mtp_17_30	Transect St-Aunès 200 m au nord	U		11	17	14
Mtp_17_31	Transect St-Aunès 50 m au nord	U	26	12	10	16
Mtp_17_32	Transect St-Aunès proxi A9	T	28	16	18	20
Mtp_17_33	Transect St-Aunès 50 m au sud	Rural influencé Trafic	24	13	10	16
Mtp_17_34	Transect St-Aunès 200 m au sud	Rural influencé Trafic	21	11	9	14
Mtp_17_41	Transect St-Aunès projet ouest A9 150 m	Rural influencé Trafic	11	11	10	11
Mtp_17_42	Transect St-Aunès projet ouest A9 50 m	Urbain influencé Trafic	21	15	17	17

N° site	Emplacement	Type site	Serie 1*	Serie 2*	Serie 3*	Moyenne corrigée en µg/m ³
Mtp_17_43	Transect St-Aunès projet est A9 50 m	Rural influencé Trafic	29	11	14	18
Mtp_17_44	Transect St-Aunès projet est A9 150 m	Rural influencé Trafic	21	10	11	14
Mtp_17_45	Station de mesure projet A9	Urbain influencé T	19	11	9	13
Mtp_17_46	bord d'autoroute, face BAUDIN derrière bac rétention d'eau	Rural influencé Trafic	22	16	19	19
Mtp_17_50	Groupe scolaire Albert Dubout (devant)	U	21	9	6	12
Mtp_18_01	prox A9	T	21	Non posé	Non posé	21
Mtp_18_02	Groupe scolaire (aire de jeux)	U	17	8	7	11
Mtp_18_03	Stade de tennis	U	12	6	6	8
Mtp_18_04	Transect St-Aunès 200 m au sud	Rural influencé Trafic	20	8	7	11
Mtp_18_05	Transect St-Aunès projet prox A9	T	18	13	10	13
Mtp_18_06	Transect St-Aunès projet prox A9	T	28	16	19	21
Mtp_18_07	Transect St-Aunès projet est A9 150 m	Rural influencé Trafic	25	11	13	16
Mtp_18_08	Transect St-Aunès projet prox A9	T	32	8	13	20

ANNEXE 8 : Concentrations en NO₂

Profils journaliers - Concentrations moyennes de NO₂





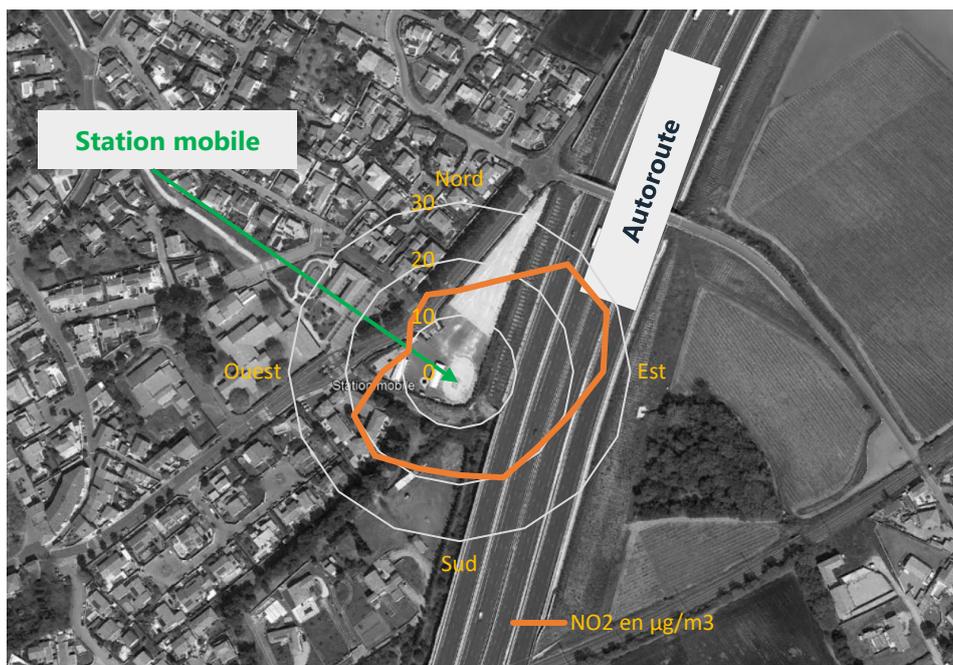
En 2024, les concentrations horaires en NO₂ à Saint-Aunès sont :

- inférieures au site urbain de Près d'Arènes à Montpellier et de Lunel-viel, lors des pics de trafic du matin.
- plus élevées en hiver par rapport à l'été, avec les pics du matin et du soir plus marqués.

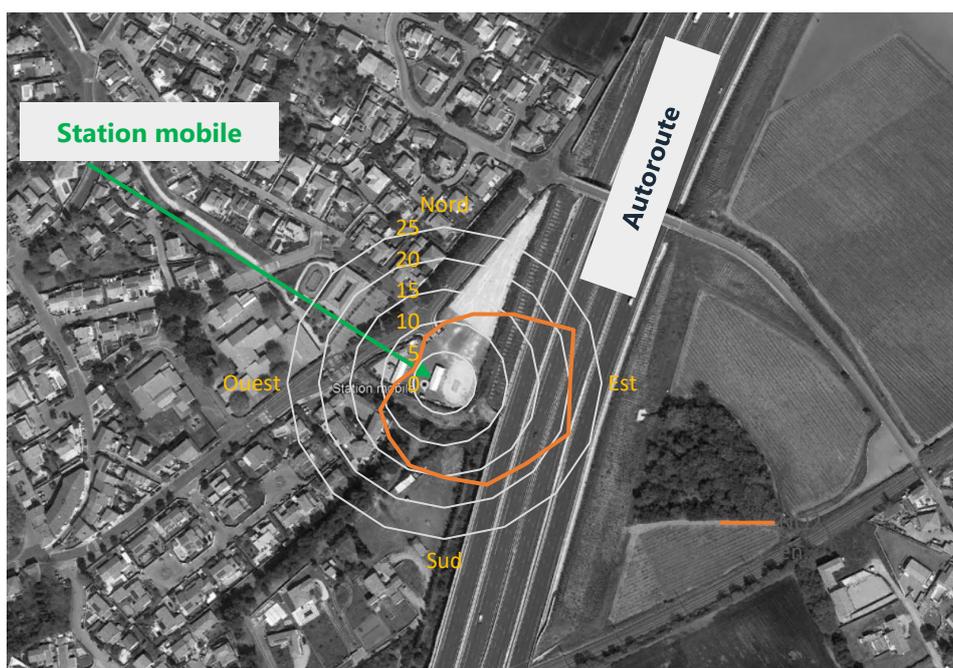
➤ Influence du vent sur les concentrations en NO₂

Les roses de pollution suivantes, indiquent, par campagne de mesure, quels secteurs de vent sont associés aux concentrations en NO₂.

- Lors de la **campagne hivernale**, toutes directions de vent confondu, **les moyennes à la station de mesure, sont plus élevées qu'en été.**
- Les moyennes horaires de NO₂ les plus élevées sont observées par direction NE avec des moyennes horaires comprises entre 27 et 29 µg/m³.
- Lorsque le vent vient du SS, l'influence d'autres sources que le trafic routier, comme le chauffage résidentiel, associées à des conditions météorologiques peu dispersives montre que les moyennes horaires augmentent également pour atteindre 20 µg/m³.
- **En été**, c'est en présence de vents venant du **secteur Est**, que **les concentrations moyennes horaires de NO₂ relevées à la station de mesure sont les plus élevées** et comprises entre 20 et 22 µg/m³. En effet, pour cette direction, la station de mesure se trouve sous le vent du panache des émissions de l'autoroute. L'influence du trafic autoroutier est donc clairement mise en évidence pour les concentrations moyennes en NO₂ les plus élevées. Cette direction de vent a été présente 10% du temps pendant les mois de juillet et août.
- A contrario, c'est **lorsque le vent vient de l'Ouest ou du Nord (46% du temps durant cette campagne d'étude) que les concentrations en NO₂ sont les plus faibles** (entre 5 et 8 µg/m³), car la station n'est plus sous le vent du panache de l'autoroute.

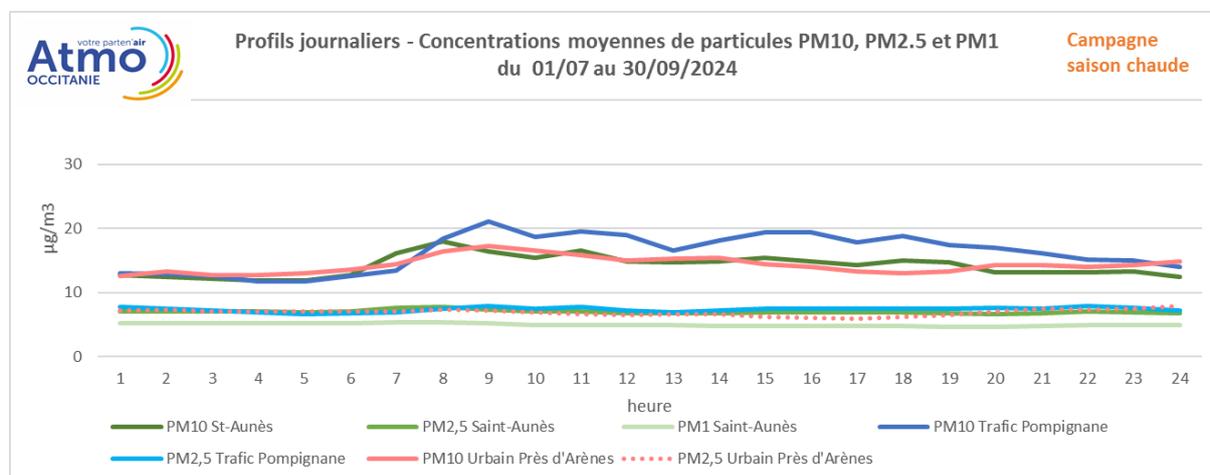
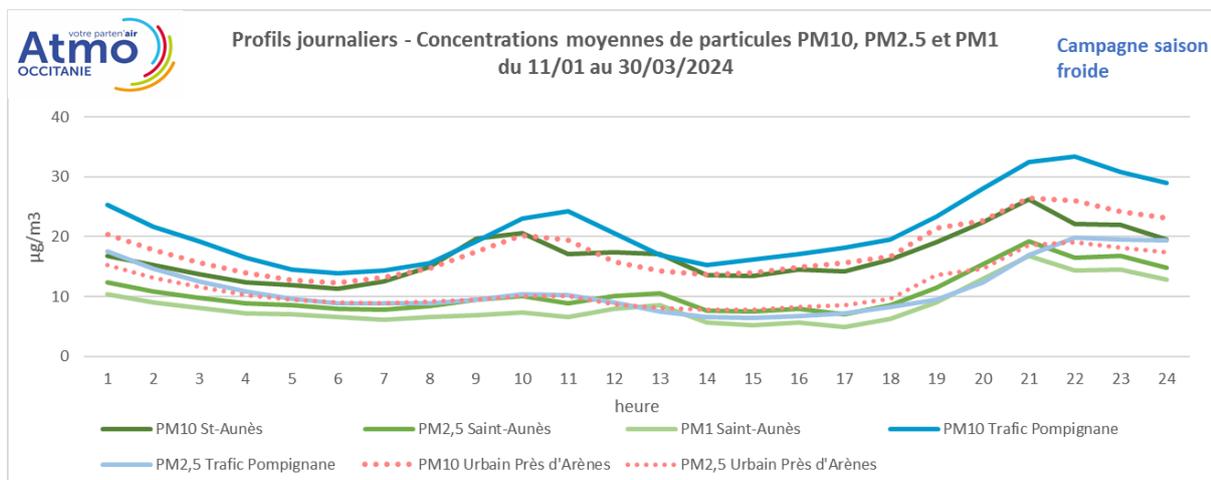


Saint-Aunès - Rose de pollution en NO₂ pour des vents > 1 m/s - 11 janvier au 29 mars 2024



Saint-Aunès - Rose de pollution en NO₂ pour des vents > 1 m/s - 1^{er} juillet au 31 août 2024

ANNEXE 9 : Concentrations en particules PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁



En cohérence avec l'influence de plusieurs types de sources d'émissions sur les concentrations en particules (trafic routier, chauffage résidentiel, autres transports et industries), l'impact du trafic aux heures de pointe est moins visible pour les particules que pour le NO₂.

En 2024, les concentrations horaires en particules à Saint-Aunès sont :

- en hiver et en été, inférieures au site de trafic de la Pompignane à Montpellier,,
- en été, similaires au site urbain de Près d'Arènes.
- plus élevées en hiver par rapport à l'été, avec les pics du matin et du soir plus marqués sur la saison hivernale. Pendant cette période, les émissions de chauffage contribuent aux augmentations des concentrations de particules en soirée. L'influence des conditions météorologiques moins dispersives contribuent également à l'accumulation des particules aux heures les plus froides

ANNEXE 10 : Protocole de mesure par microcapteurs

Un protocole de mesure a été développé par Atmo Occitanie afin d'assurer la qualité des données issues de ces nouveaux équipements.

➤ Objectifs

Pour chaque nouvelle campagne de mesure par micro-capteurs, un protocole de mesure est mis en place. Il inclut une phase de validation préalable, avant mesures sur le terrain et une phase de validation finale réalisée après la fin des mesures sur le terrain permettant de valider les données mesurées pour l'ensemble de la campagne de mesure.

➤ **Le protocole de validation défini par Atmo Occitanie se déroule en 3 étapes :**

Phase de validation préalable

- Tests métrologiques
- Intercomparaison de 15 jours minimum entre les micro-capteurs entre eux et avec analyseur de référence sur site de mesure test à Pérols
- Validation du bon fonctionnement des micro-capteurs : corrélation avec analyseur de référence
- Micro-capteurs défectueux écartés et remplacés pour la phase de mesure
- Sélection du micro-capteur pour le couple micro-capteur/analyseur de référence

Mesures sur la zone d'étude

- Déploiement des micro-capteurs retenus sur la zone d'étude
- Installation d'un couple de référence : micro-capteur et analyseur de référence

Phase de validation finale

- Intercomparaison de 15 jours minimum entre les micro-capteurs entre eux et avec analyseur de référence sur site de mesure test à Pérols
- Validation de l'ensemble des données de la phase de mesure
- Corrections éventuelles des données

Pour chaque campagne de mesure par micro-capteur, il est donc réalisé :

- une **phase de validation préalable à la campagne de mesure** qui permet de vérifier que les micro-capteurs sont corrélés avec un analyseur de référence et qu'ils sont reproductibles entre eux. Cette phase d'intercomparaison entre l'analyseur de référence et les micro-capteurs est réalisée sur le site d'Atmo Occitanie à Pérols. A l'issue de cette étape, le micro-capteur qui présente les meilleurs résultats d'essais est sélectionné pour mise en parallèle avec l'analyseur de référence sur la zone d'étude.
- une **phase de validation finale après la campagne de mesure**, où la même intercomparaison est réalisée afin de s'assurer que les micro-capteurs sont toujours reproductibles entre eux et qu'ils n'ont pas présenté de dérive significative par rapport à l'analyseur de référence. Cette étape permet de valider les données mesurées pendant la phase de mesures sur site.

➤ Mesures sur la zone d'étude : Protocole de validation des données

Les 6 micro-capteurs sont installés sur le site d'étude de Saint-Aunès sur 2 saisons météorologiques contrastées.

Cette phase de mesures comprend une phase de validation quotidienne qui consiste à vérifier le bon fonctionnement des micro-capteurs. Lors de cette phase, très peu de données sont invalidées.

Mesures micro-capteur : moyenne par minute

Récupération des données sur Poste central XR

- Données brutes par minute
- Données compensées par minute et construction moyenne 1/4 horaire

Validation technique quotidienne

- Invalidation des données aberrantes

5.1. Validation finale des données

Cette phase de validation des données se déroule après les tests de fin de campagne qui ont validé le bon fonctionnement des micro-capteurs et notamment leur reproductibilité.

Validation de niveau 1

- Invalidation des données horaires brutes si $HR \neq 0$ à 101 % et/ou $T \neq -10$ à $+50$ °C
- Invalidation des données aberrantes

Validation de niveau 2

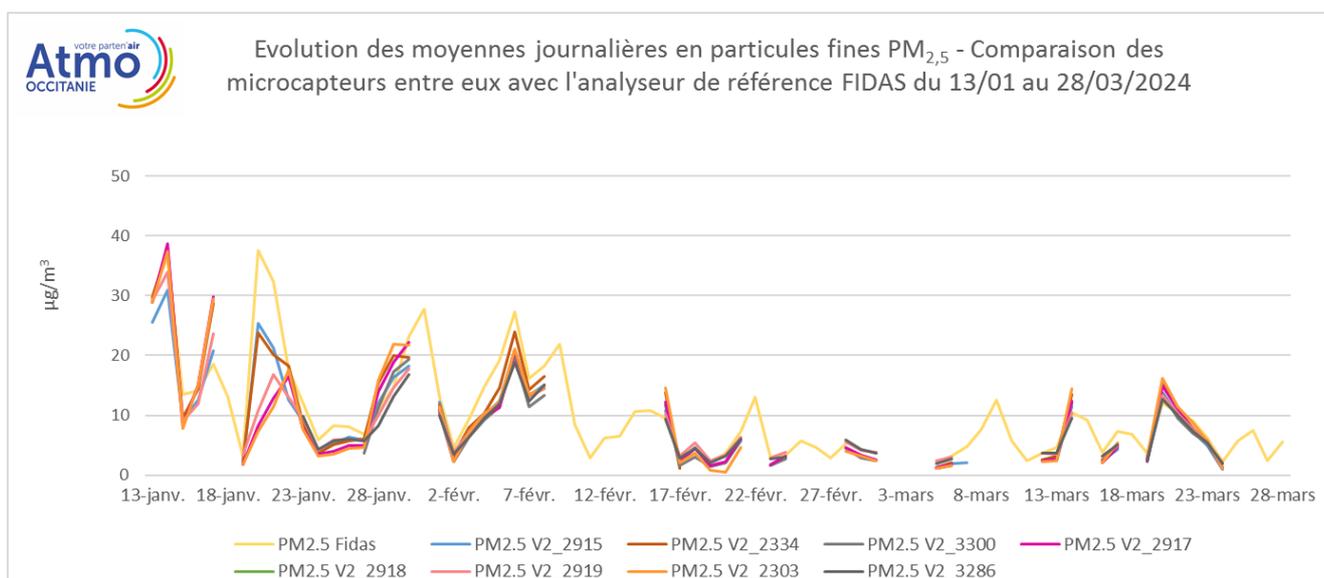
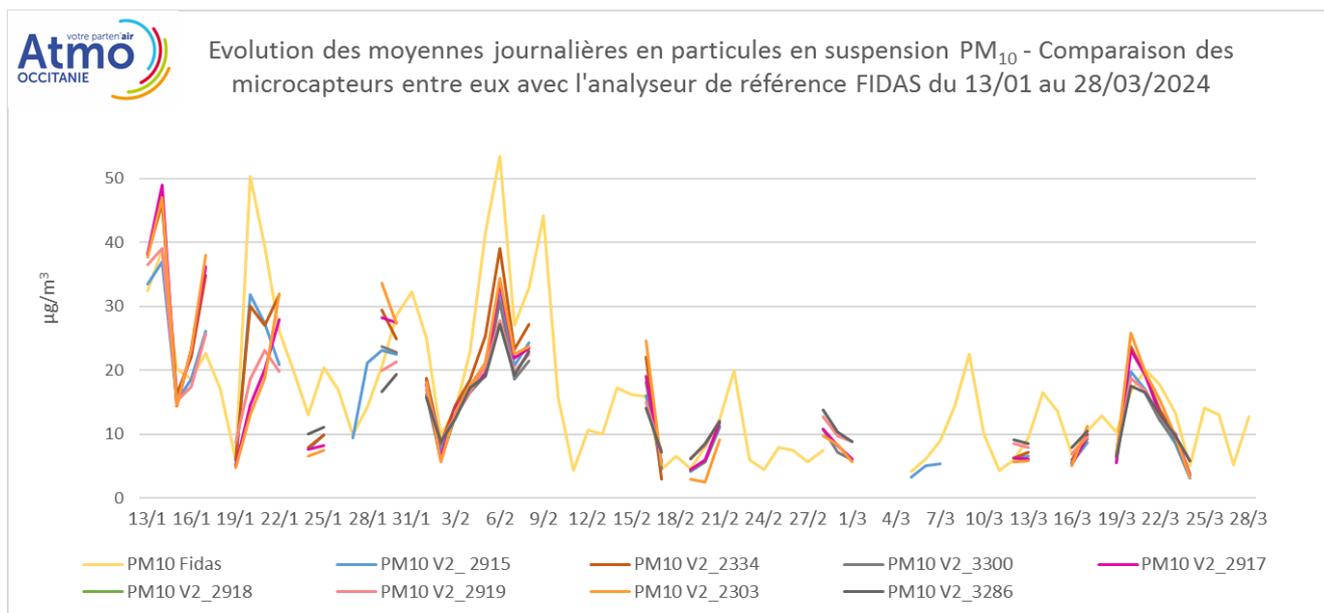
- Invalidation de toutes les données des micro-capteurs si le Z-score du couple de référence est supérieur à 3

Recalcul des moyennes horaires et journalières

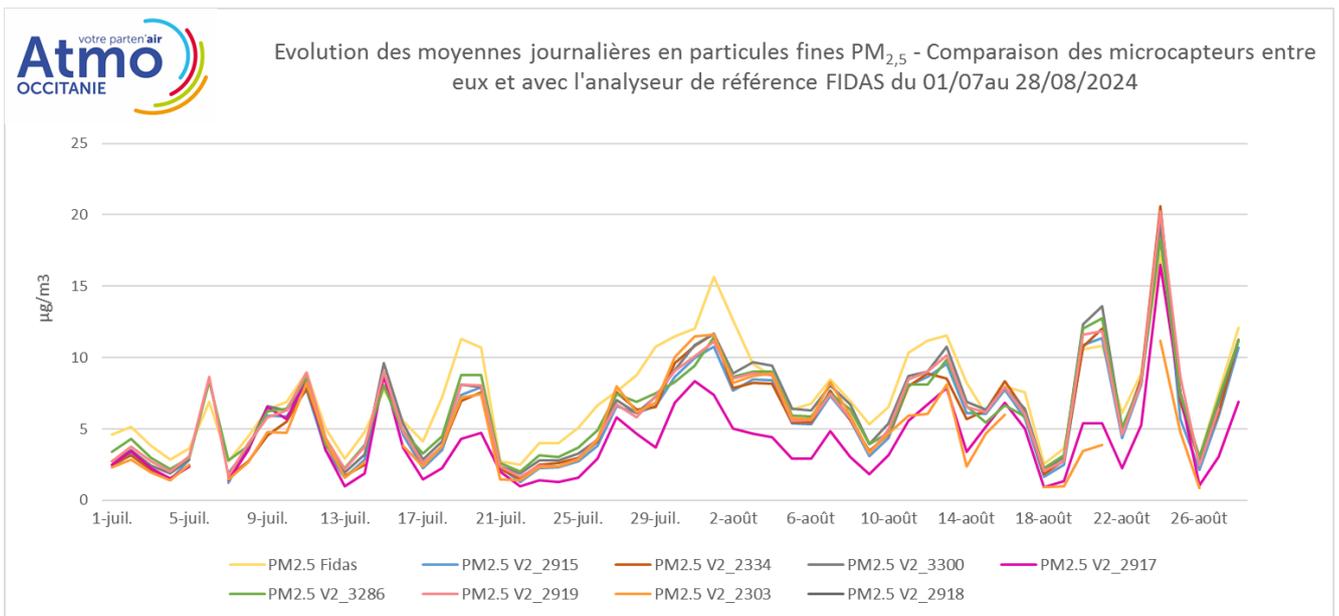
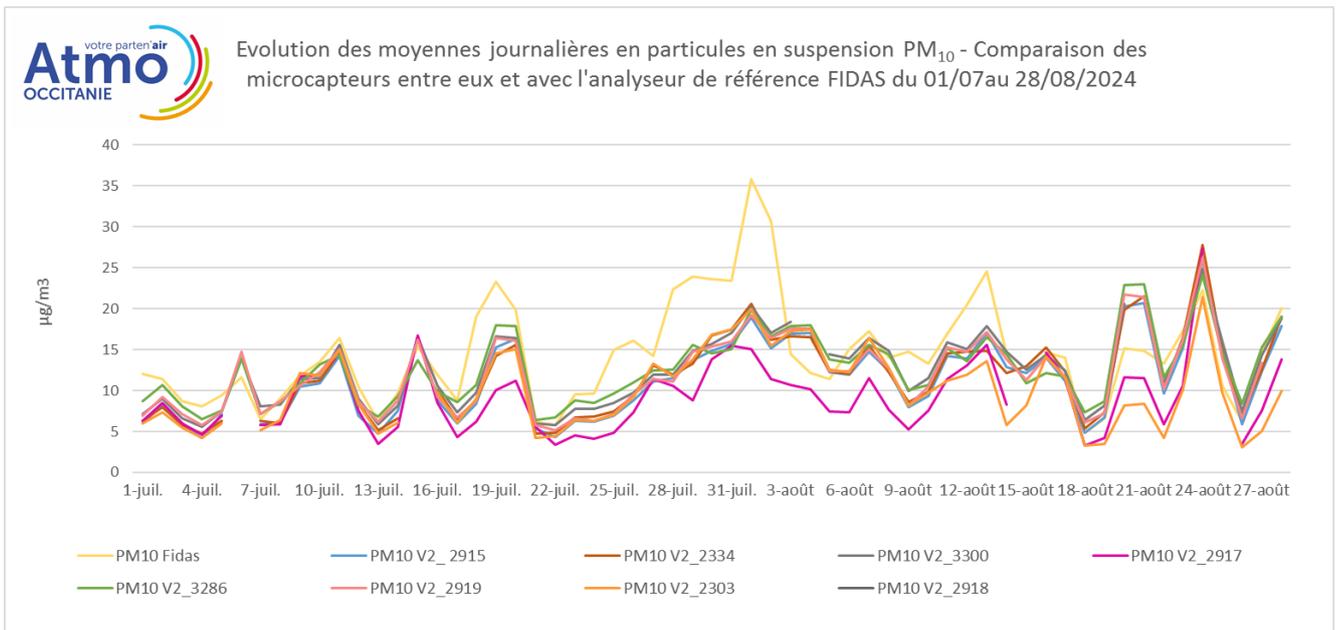
ANNEXE 11: Résultats des mesures PM₁₀ et PM_{2.5} par microcapteurs

Les données horaires présentées ci-après ne sont pas corrigées comme les moyennes des périodes présentées dans le rapport qui sont corrigées par rapport au couple FIDAS/MC de référence.

➤ Campagne hiver 2024



➤ Campagne été 2024

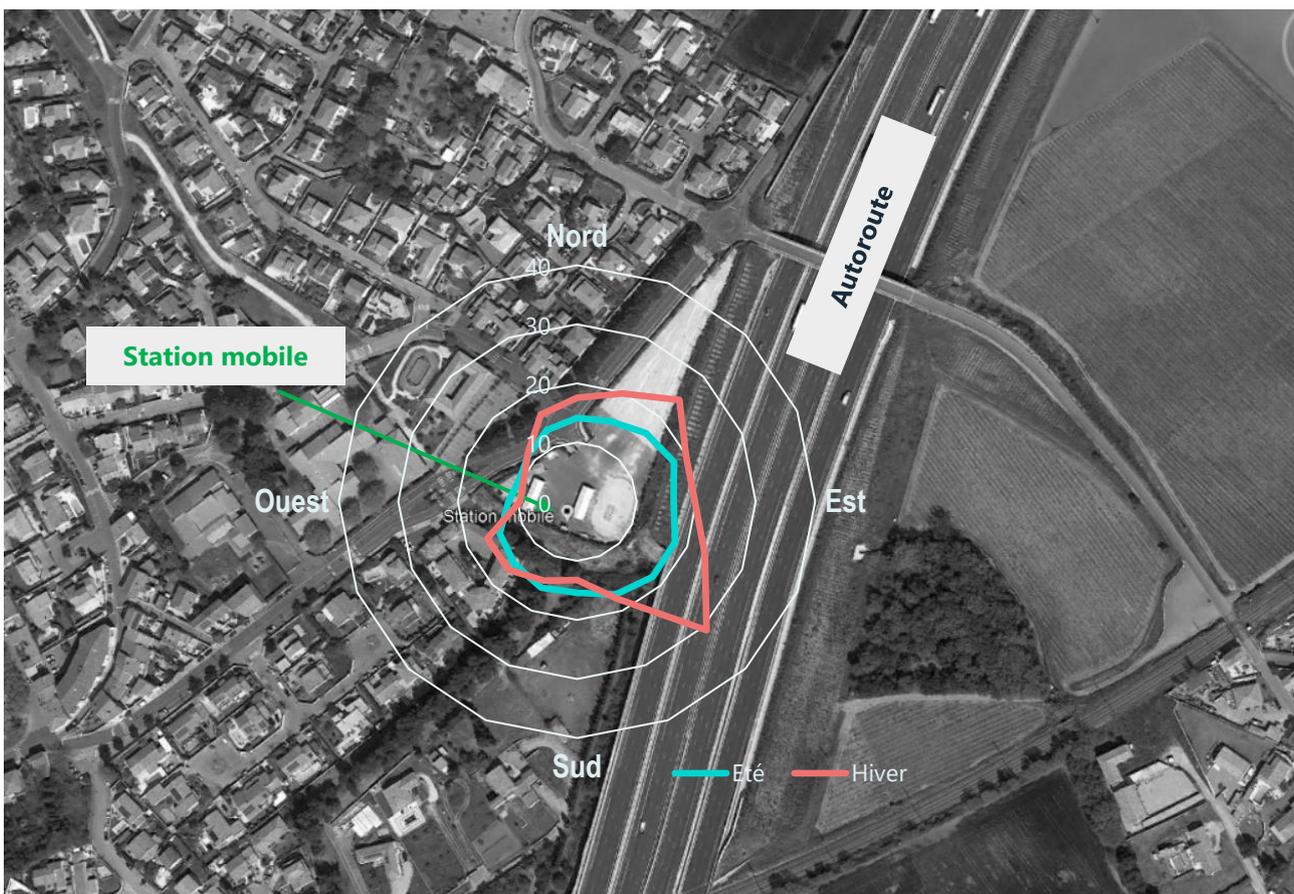


➤ Influence du vent sur les particules PM10

Les roses de pollutions, ci-après, indique, quels secteurs de vent sont associés aux concentrations en particules PM10.

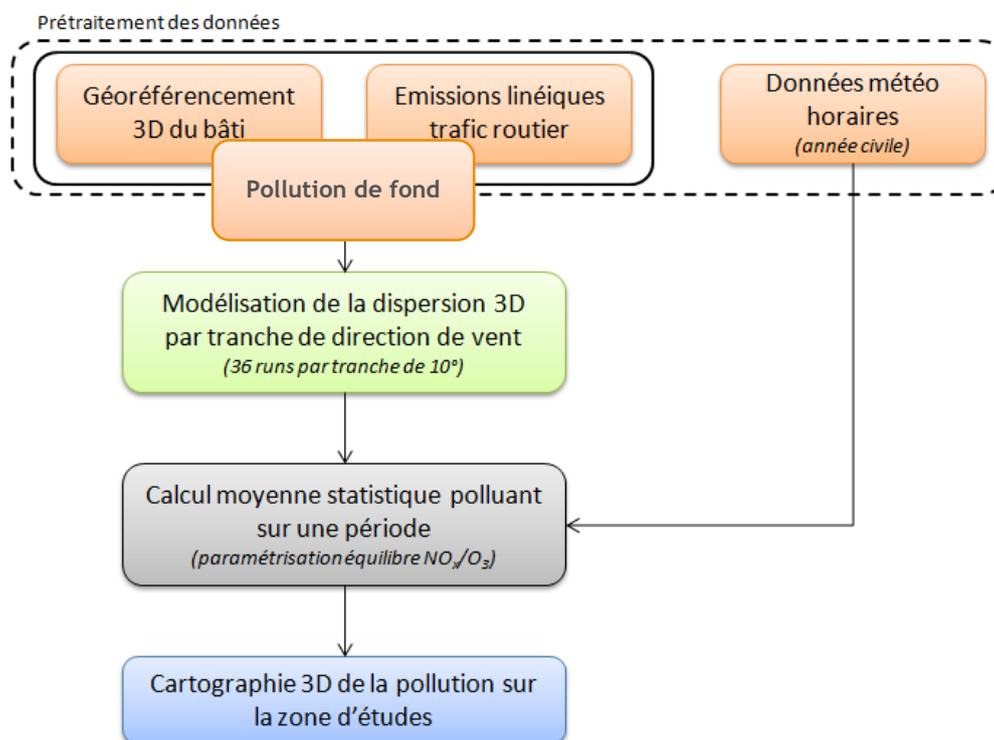
- Quelle que soit la direction de vent, c'est en hiver que les concentrations moyennes en particules en suspension PM₁₀ sont les plus élevées.
- **C'est en présence de vents venant de l'Est et du Sud Est que les concentrations moyennes en particules PM₁₀ sont les plus élevées sur le site de la station de Saint-Aunès.** Les concentrations en particules sont donc influencées par les émissions de l'autoroute lorsque le vent provient de cette direction, plaçant la station sous l'influence du panache de l'autoroute. A cela s'ajoute, en hiver 2024, des épisodes de pollution aux particules désertiques avec des masses d'air venant du Sud-Est.
- A contrario, c'est **lorsque le vent est orienté entre l'Ouest et le Nord-Nord-Ouest que les concentrations moyennes en particules PM₁₀ sont les plus faibles.** Cependant, les concentrations en particules diminuent moins que les concentrations en NO₂ pour ces directions, ce qui **confirme l'effet d'autres sources d'émissions sur les concentrations en particules.**

Saint-Aunès - Rose de pollution en particules en suspension PM₁₀ pour des vents > 1 m/s
Hiver : 11/01 au 29/03/24 - Été : 01/07 au 31/08/24



ANNEXE 12: Modélisation 3D

Principe du logiciel 3D MISKAM



Le modèle MISKAM est un modèle 3D développé en Allemagne par le Dr. J. Eichhorn de l'institut de physique atmosphérique de l'université de Mayence. C'est un modèle tridimensionnel d'écoulement de micro-échelle, couplé à un modèle de dispersion eulérien, qui intègre les contraintes de dispersion des polluants du fait de la présence d'obstacles sur le domaine d'étude.

Ce modèle permet de modéliser les particules, le dioxyde d'azote, le benzène et le monoxyde de carbone sur des pas de temps à définir (moyenne annuelle, maximum horaire, etc). Il permet également de calculer des percentiles et des fréquences de dépassement de valeurs réglementaires.

Le principe du logiciel est de modéliser par tranche de direction de vent et par type d'atmosphère (de stable à très instable) la dispersion des polluants autour des obstacles dans une zone d'étude limitée (un quartier).

Une fois ces calculs "directionnels" effectués, MISKAM estime alors une moyenne annuelle (ou sur une période plus courte) en effectuant un croisement entre les données météorologiques de l'année (ou de la période) et les calculs "directionnels". Les paramétrisations des processus chimiques interviennent aussi au niveau de cette étape.

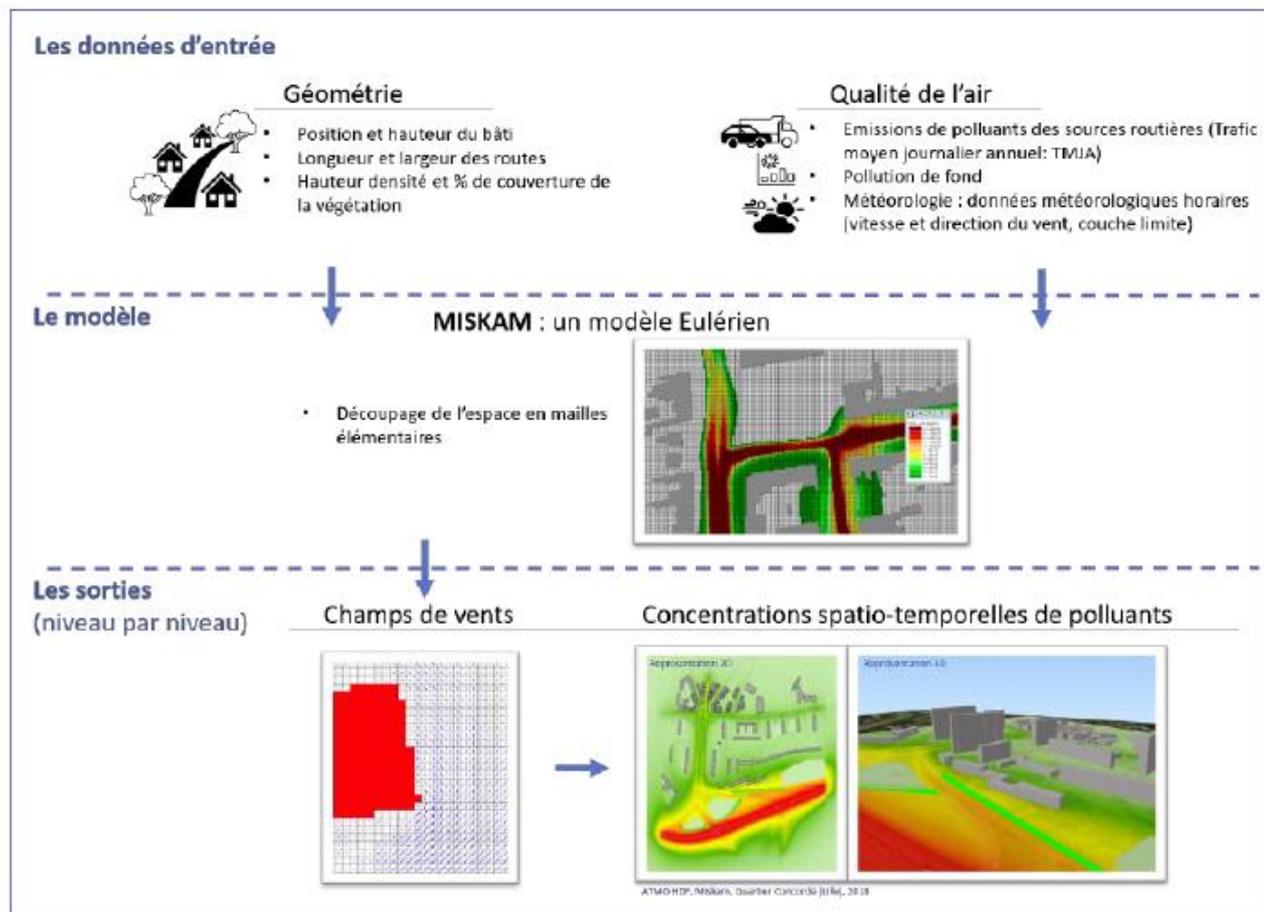


Figure 1 : Principes du logiciel MISKAM

Détails du module végétation de MISKAM

Le modèle MISKAM intègre un module « végétation » permettant de prendre en compte les effets de la végétation dans la modélisation. Pour paramétrer ce module, il est nécessaire de :

- Définir avec précision la position spatiale des végétaux.
- Spécifier le pourcentage de couverture végétale, en particulier si la définition spatiale des zones végétalisées est imprécise.
- Indiquer la LAD (Leaf Area Density, m^2/m^3), correspondant à la surface de feuille contenue dans un mètre cube.

Dans le cadre de la prise en compte des haies végétalisées présentes sur les merlons de l'autoroute A9, au niveau de Saint-Aunès, une modélisation précise a été réalisée. La géométrie des merlons a été définie avec une grande précision, en distinguant les sommets et les versants selon l'état de la végétation. Trois scénarios ont été étudiés :

- Végétation réelle : Les positions et tailles des végétaux ont été déterminées à partir d'observations réalisées via des images satellites et des photographies prises en octobre 2023. La LAD a été fixée à $3 m^2/m^3$.

- Végétation peu développée : La taille des végétaux a été estimée à moins d'un mètre, avec seulement 50 % de la surface des merlons couverte. La LAD a été fixée à 2 m²/m³.
- Végétation fortement développée : Les végétaux ont été considérés à une hauteur supérieure à 2 mètres, avec 100 % de la surface des merlons couverte. La LAD a été fixée à 4 m²/m³.

Concernant les valeurs de LAD, celles-ci, comprises entre 2 et 4 m²/m³, ont été définies conformément au manuel utilisateur de MISKAM et à l'article scientifique suivant : Li, S.; Dai, L.; Wang, H.; Wang, Y.; He, Z.; Lin, S. Estimating Leaf Area Density of Individual Trees Using the Point Cloud Segmentation of Terrestrial LiDAR Data and a Voxel-Based Model. Remote Sens. 2017, 9, 1202.

A noter que la LAD dépend fortement du climat local, des essences végétales et de leur état de santé. La LAD réelle des végétaux couvrant les merlons n'a pas pu être mesurée.

Données d'entrées

Les données d'entrées nécessaires à la modélisation fine échelle sur la zone d'étude de Saint-Aunès sont :

- o les émissions du trafic routier,
- o la topographie du domaine d'étude,
- o la pollution de fond,
- o les données météorologiques.

La **pollution de fond** est ajoutée aux simulations pour estimer les concentrations moyennes qui entrent dans le domaine, notamment lorsque des sources importantes se situent à proximité. Cela permet d'étudier le poids des seules sources de proximité en enlevant ces concentrations.

Les **données météorologiques** sont les données de la station Météo France de Mauguio.

Emissions du secteur transport

Dans MISKAM seules les émissions issues du transport routier sont modélisées. L'outil de calcul des émissions Circul'air, intègre la méthodologie COPERT 5. Les émissions du trafic routier intégrées dans MISKAM sont calculées à partir de données présentées dans le tableau suivant.

Le calcul des émissions tient compte des **données d'entrées** suivantes :

Conditions de trafic 2023	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre de véhicules en Trafic moyen Journalier annuel par typologie (PL, VP, Bus, 2 roues), VUL,...) - Vitesse de circulation moyenne - Type de voie (route nationale, autoroute, voie urbaine etc.) - Fluidité/congestion du trafic (4 catégories) - Surémissions dues aux PL liées aux pentes et au taux de charge (optionnel)
---------------------------	--

Milieu routier	Type de voie (route nationale, autoroute, voie urbaine etc.)
Températures moyennes 2023	Températures moyennes minimales et maximales prises en compte pour le calcul de l'évaporation des polluants organiques volatils
Classes de véhicules	Le Parc roulant français du CITEPA de l'année modélisée

En sortie de calcul, les données suivantes sont disponibles :

Données de sorties	<p>En sortie du calcul, les véhicules sont subdivisés en 242 types parmi les catégories VP, VUL, PL, bus, 2 roues intégrant le carburant utilisé, la taille du moteur, la technologie et les réglementations d'émissions (normes Euros).</p> <p>Les émissions à l'échappement, à l'évaporation et celles provenant de l'usure des pièces métalliques sont précisées pour les particules et les métaux.</p>
Polluants étudiés	<p>Teneur en polluants (gaz, particules, métaux lourds,...) en g ou mg/kg sur chaque route pour l'année 2023 :</p> <p>NO_x, PM₁₀, PM_{2,5}</p>

Limites de la modélisation 3D

Le logiciel de modélisation 3D MISKAM présente certaines limites dans le cadre de la modélisation des polluants liés au trafic routier. Parmi ces limites, on peut citer :

- **Non prise en compte de la turbulence induite par le trafic**

MISKAM ne modélise pas explicitement la turbulence générée par le déplacement des véhicules (turbulence de roulage). Or, cette turbulence influence significativement la dispersion des polluants, notamment à proximité immédiate des axes routiers.

- **Hypothèse de vent stationnaire et homogène**

Le modèle suppose souvent un champ de vent stationnaire et homogène, ce qui peut ne pas refléter fidèlement les variations locales du vent induites par la circulation, la topographie ou les structures urbaines.

- **Représentation simplifiée des émissions**

MISKAM nécessite des fichiers d'émission en entrée, mais ne modélise pas directement la formation et la transformation chimique des polluants. Les émissions sont généralement traitées de manière statique et peuvent ne pas refléter des conditions de trafic réelles (variabilité temporelle et spatiale).

- **Difficulté de prise en compte des effets thermiques**

La chaleur dégagée par les véhicules et l'infrastructure routière (effet de l'asphalte, effet de l'îlot de chaleur urbain) est peu ou pas intégrée dans les simulations, alors qu'elle peut affecter la dispersion des polluants.

- **Maillage et temps de calcul**

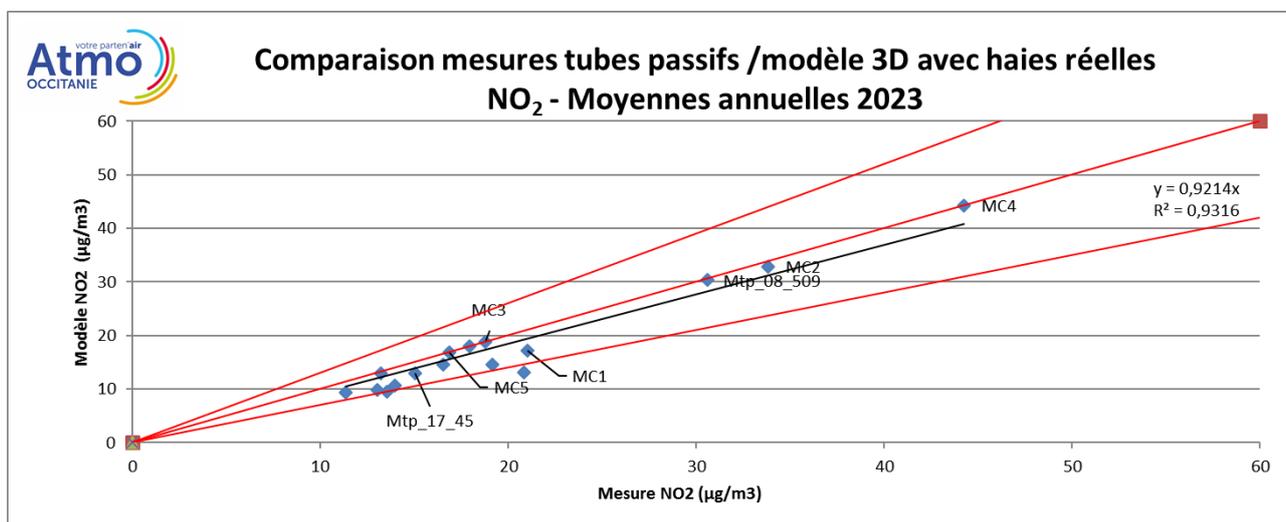
MISKAM repose sur une grille de calcul tridimensionnelle fine, ce qui peut entraîner des temps de simulation longs, surtout pour des domaines étendus ou des simulations nécessitant une grande résolution spatiale.

- **Modélisation limitée des réactions chimiques atmosphériques**

MISKAM ne prend pas en compte la chimie atmosphérique détaillée, notamment la conversion du NO en NO₂ et la formation d'ozone, qui sont pourtant essentielles pour modéliser correctement les concentrations de NO₂ à proximité des axes routiers.

En raison de ces limitations, MISKAM est souvent utilisé en complément d'autres modèles de dispersion comme ADMS-Urban, utilisé par ATMO Occitanie, afin d'obtenir une représentation plus complète de l'impact du trafic routier sur la pollution de l'air.

Résultats de la comparaison mesures/modèle



Le tableau page suivante présente la comparaison des concentrations annuelles de NO₂ en 2023, mesurées par tubes passifs à Saint-Aunès avec les résultats de la modélisation numérique 3D MISKAM.

site TP NO2	Mesure NO2_2023 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Modèle 3D en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MC1	21,0	17,2
MC2	33,8	32,9
MC3	18,8	18,8
MC4	44,2	44,2
MC5	16,9	16,9
Mtp_08_509	30,6	30,3
Mtp_17_41	13,6	9,6
Mtp_17_42	19,1	14,6
Mtp_17_43	16,5	14,6
Mtp_17_44	14,0	10,7
Mtp_17_45	15,0	13,0
Mtp_17_50	13,0	9,8
Mtp_18_01	17,9	18,0
Mtp_18_02	11,4	9,4
Mtp_18_08	20,9	13,2
St-Aunes	13,2	13,0

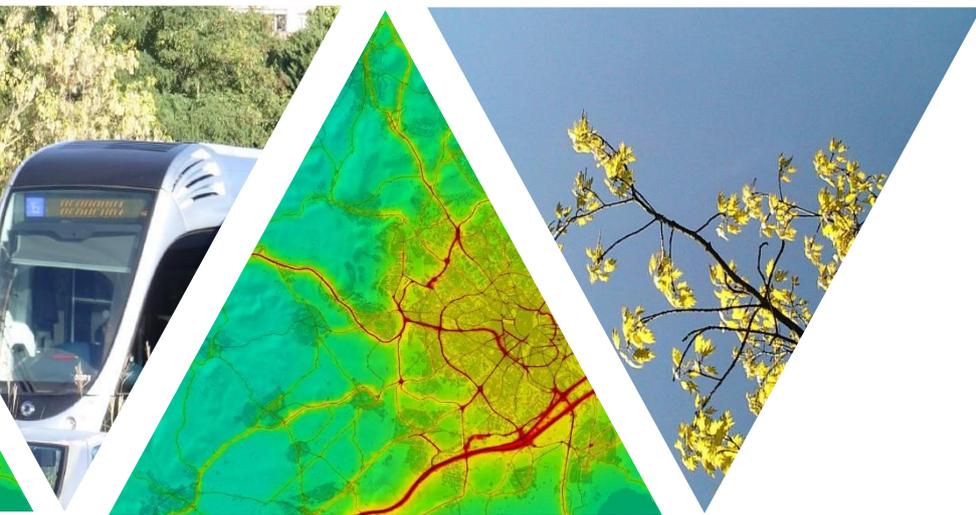
Moyenne Mesures	Moyenne Modèle	Biais	Erreur
20,0	17,9	2,1	10,6%

L'écart moyen entre les mesures et les résultats de modélisation est de $-2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le modèle a donc tendance à sous-estimer les concentrations réelles.

Sur 15 sites sur 16, les valeurs modélisées sont inférieures aux mesures. Pour les sites MC3, MC4, MC5, Mtp_18_01, l'écart est cependant inférieur à $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les écarts obtenus entre mesures et modèle peuvent s'expliquer par :

- Pour le modèle 3 D, notamment :
 - une sous-estimation des émissions locales (trafic, influence de la turbulence au passage des véhicules sur la dispersion des émissions),
 - une configuration géométrique simplifiée des sites étudiés (merlons, murs anti-bruits) et des hypothèses de calcul simplificatrices (par exemple, émissions homogènes sur un tronçon de route),
 - des conditions météorologiques moyennes,
- la méthode des tubes passifs également entachée d'incertitude (en moyenne +/- 20%) ainsi qu'une moyenne annuelle 2023 estimée à partir de 4 séries de 28 jours.



L'information sur la qualité de l'air en Occitanie

www.atmo-occitanie.org



Agence de Montpellier
(Siège social)
10 rue Louis Lépine
Parc de la Méditerranée
34470 PEROLS

Agence de Toulouse
10bis chemin des Capelles
31300 TOULOUSE

Tel : 09.69.36.89.53
(Numéro CRISTAL – Appel non surtaxé)

Crédit photo : Atmo Occitanie