



Évaluation de la qualité de l'air sur le territoire du Grand Montauban en 2023

Bilan année 2023

ETU-2024-196

Edition Juillet 2024



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. À 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

RÉSUMÉ	1
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	2
1.1. CONTEXTE	2
1.2. OBJECTIFS	2
2. DISPOSITIF D'ÉVALUATION	3
2.1. PRINCIPAUX POLLUANTS ATMOSPHERIQUES RÉGLEMENTÉS	3
2.2. CARTOGRAPHIE DES CONCENTRATIONS	3
2.3. DISPOSITIFS DE MESURE	3
3. RÉSULTATS	5
3.1. LE DIOXYDE D'AZOTE NO ₂	5
3.1.1. Modélisation de la concentration en dioxyde d'azote	5
3.1.2. Mesures de la concentration en dioxyde d'azote NO ₂	6
3.2. CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM ₁₀ ET PM _{2.5}	10
3.2.1. Modélisation de la concentration en PM ₁₀ et PM _{2.5}	10
3.2.2. Mesures de la concentration en PM ₁₀ et PM _{2.5}	12
4. CONCLUSION	17
TABLE DES ANNEXES	18

RÉSUMÉ

Atmo Occitanie assure le suivi de la qualité de l'air sur la Communauté d'Agglomération (CA) du Grand Montauban depuis l'année 2020. Les concentrations des principaux polluants réglementés dans l'air ambiant sont mesurées via un dispositif pérenne de mesure en continu et comparées aux seuils réglementaires en vigueur.

En 2023, le programme de surveillance s'est étoffé d'une campagne de mesure du dioxyde d'azote (NO₂) à l'aide de dispositifs d'échantillonnage passifs afin d'observer les niveaux de concentrations au plus près des axes routiers les plus importants de l'agglomération permettant ainsi une meilleure précision du modèle de dispersion des polluants sur l'agglomération. Ces cartographies permettent d'estimer les concentrations en NO₂ en tout point du territoire.

Dioxyde d'azote (NO₂)

- **Respect de l'ensemble des seuils réglementaires en fond urbain.**
- **En 2022, il est estimé qu'entre 200 et 350 personnes étaient soumises à des niveaux de NO₂ supérieurs à la valeur limite (40 µg/m³) sur l'agglomération de Montauban**, soit 0,5% de la population totale du territoire.
- Les niveaux de NO₂ sont maximaux le long des principaux axes routiers, notamment lors des horaires de pointe du trafic routier. Les émissions du trafic routier influencent également les concentrations mesurées en situation de fond urbain, sur les principales plages journalières de trafic.
- Des niveaux plus élevés ont été mesurés au niveau de l'avenue Aristide Briand et du rondpoint de la Place de la Libération, niveaux qui résultent probablement d'une congestion forte localement.

Particules en suspensions (PM₁₀) et particules fines (PM_{2.5})

- **Respect de l'ensemble des seuils réglementaires en fond urbain.**
- **En 2022, il est estimé qu'aucune personne n'était soumise à des niveaux de particules supérieures aux valeurs limites réglementaires.** Cependant, Atmo Occitanie a estimé qu'environ 18 750 personnes étaient soumises à un dépassement de l'objectif de qualité fixé à 10 µg/m³ pour les PM_{2.5}.
- Les concentrations en PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées en 2023 à Montauban en fond urbain sont du même niveau que la ville de Montpellier, et inférieures à celles enregistrées à Toulouse.
- Les niveaux de particules en suspensions et fines sont plus élevés lors des périodes froides et fluctuent au cours de la journée selon la mise en route des dispositifs de chauffage dans l'agglomération.

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

1.1. Contexte

Atmo Occitanie, l'observatoire régional de la qualité de l'air en Occitanie, est agréé par le ministère de la Transition écologique pour assurer la surveillance de la pollution atmosphérique en tout point du territoire régional. Cette mission d'intérêt général qui lui est confiée nécessite des ajustements réguliers de son parc de dispositifs de mesures, comprenant des stations pérennes, des stations mobiles temporairement installées et des campagnes spécifiques sur différents territoires.

Depuis 2020, le territoire du Grand Montauban est équipé d'un dispositif pérenne permettant de surveiller en continu l'évolution des concentrations des principaux polluants réglementés (dioxyde d'azote NO₂, particules en suspension PM₁₀ et particules fines PM_{2,5}, et l'ozone) et d'évaluer la qualité de l'air au quotidien.

En complément à ce dispositif pérenne, un besoin d'évaluation spécifique au territoire a été identifié, notamment pour améliorer les connaissances sur les niveaux d'exposition en proximité d'axes routiers à fort trafic. Pour cela, Atmo Occitanie a entrepris la réalisation de deux campagnes par échantillonneurs passifs de mesures du dioxyde d'azote, principal polluant émis par ce secteur d'activité. Ainsi, 45 points de mesures ont été déployés dans l'agglomération.

C'est dans ce cadre qu'Atmo Occitanie, en partenariat avec la CA du Grand Montauban, a entrepris une évaluation complémentaire de la qualité de l'air sur le territoire.

1.2. Objectifs

Le présent rapport répond à plusieurs objectifs :

- Évaluer l'exposition des populations aux principaux polluants réglementés : le dioxyde d'azote NO₂, les particules en suspension PM₁₀ et les particules fines PM_{2,5} ;
- Identifier des secteurs sensibles vis-à-vis de la réglementation sur la qualité de l'air en vigueur ;
- Comparer la situation sur l'agglomération avec celle observée sur d'autres environnements de fond urbain et de proximité trafic dans la région Occitanie ;
- Disposer de données de mesures afin de valider les cartographies de la pollution de la qualité de l'air et affiner statistiquement les résultats du modèle de dispersion mis en place sur le territoire.

2. Dispositif d'évaluation

2.1. Principaux polluants atmosphériques réglementés

Cette évaluation concerne trois polluants atmosphériques réglementés en air ambiant qui concentrent la majorité des enjeux en terme de qualité de l'air à l'échelle de l'Occitanie : **le dioxyde d'azote (NO₂)**, les **particules en suspension PM₁₀** de taille inférieure à 10 µm ainsi que **les particules fines PM_{2.5}** de taille inférieure à 2,5 µm. Ce sont ces polluants qui sont utilisés pour établir l'indice quotidien de la qualité de l'air et qui sont cibles des principaux plans de réduction des émissions de polluants atmosphériques. Les valeurs réglementaires des différents polluants sont présentées plus en détail en **Annexe 1**.

Depuis la parution du décret en 2011 encadrant les concentrations de ces polluants dans l'air ambiant, l'amélioration des connaissances de leur impact sanitaire a permis à l'organisation mondiale de la santé (OMS) de publier en 2021 de nouvelles valeurs de référence plus contraignantes. Ces nouvelles lignes directrices guident l'Europe dans son projet de révision de ses seuils réglementaires applicables.

L'annexe 2 présente plus en détail les origines et effets de ces différents polluants sur la santé et l'environnement.

2.2. Cartographie des concentrations

Les cartographies des concentrations sont réalisées à partir des quantités d'émissions de polluants dans l'air ambiant estimées au travers de l'inventaire des émissions régionales d'Atmo Occitanie et intègrent les conditions météorologiques afin de représenter la dispersion des principaux polluants atmosphériques sur l'agglomération du Grand Montauban.

Les modélisations du dioxyde d'azote (NO₂) et des particules PM₁₀ et PM_{2.5} sont réalisées spécifiquement sur le territoire de l'agglomération pour l'année de référence 2022. Cela signifie que ce sont les conditions météorologiques de l'année 2022 qui ont été appliquées pour cet exercice. Les données d'émissions sont issues de la version d'inventaire d'Atmo Occitanie *ATMO_IRS_V7.1_2008_2021*.

La méthodologie et la validation des modèles sont détaillées plus largement en **annexes 3 et 4**.

2.3. Dispositifs de mesure

En 2023, 45 échantillonneurs passifs ont été installés sur le territoire de l'agglomération du Grand Montauban. Le détail de la localisation des échantillonneurs et leur résultat sont disponibles en **annexe 5**.

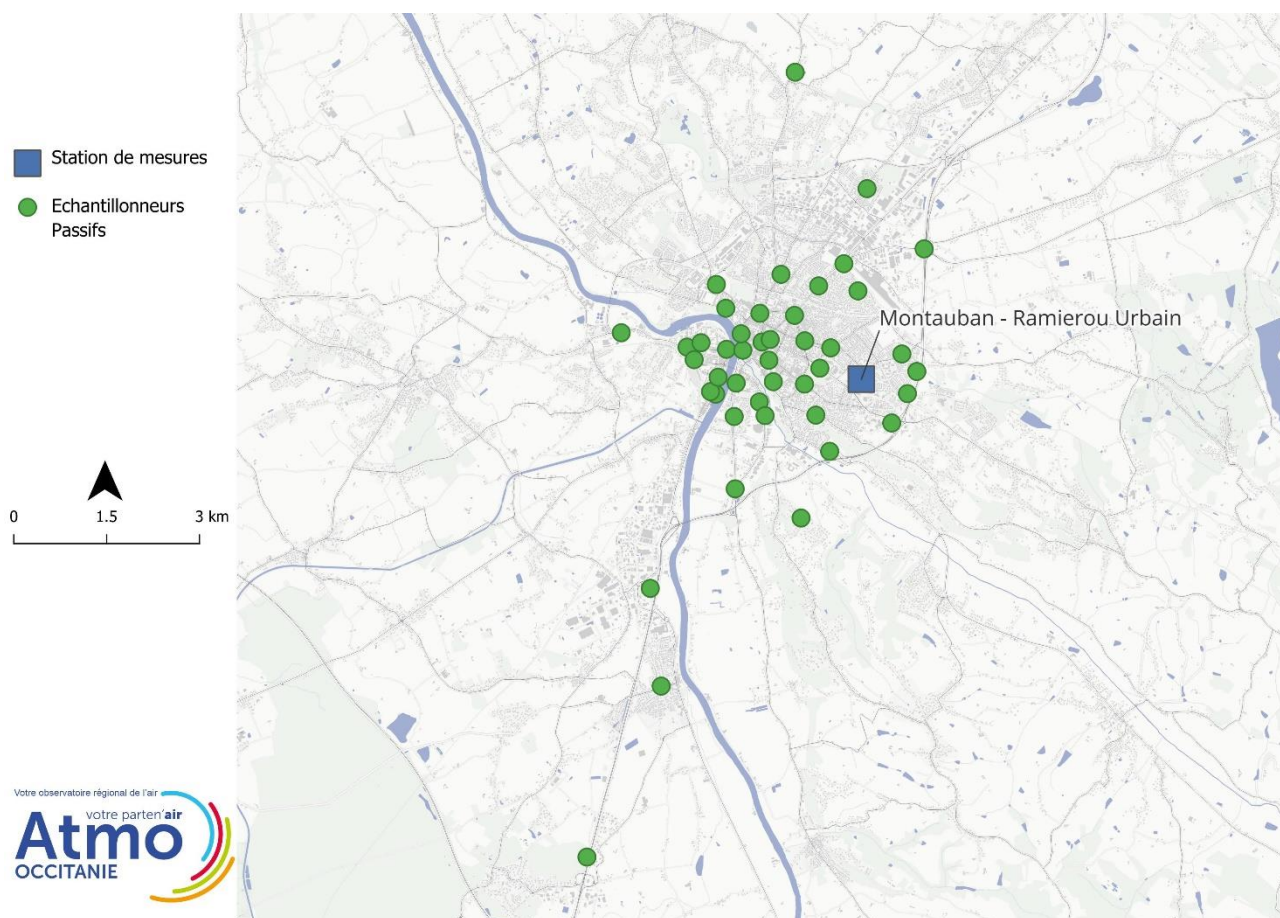
Ce suivi se décompose en 2 phases afin d'être représentatif de périodes météorologiques bien distinctes : une période estivale et une hivernale. Pour chaque campagne de mesures, c'est une concentration moyenne sur la période qui est mesurée. Les concentrations moyennes présentées dans ce rapport sont issues d'un calcul par adaptation statistique qui permet l'extrapolation des concentrations mesurées sur une année entière.

Période hivernale :

Du 09 mars au 06 avril 2023

Période estivale :

Du 13 juillet au 10 août 2023



La station pérenne urbaine est implantée dans la rue du Ramierou à l'est de Montauban, afin d'être représentative de l'exposition moyenne à la pollution de l'air sur le territoire (fond urbain).

Les mesures se déroulent en continu au moyen d'analyseurs automatiques qui enregistrent en temps réel les concentrations de différents polluants atmosphériques.

Trois familles de polluants sont investiguées en continu :

- Le dioxyde d'azote (NO₂) ;
- Les particules en suspension (PM₁₀), particules fines (PM_{2,5}) et particules ultrafines (PM₁) ;
- L'ozone (O₃).

Les mesures d'ozone ne sont pas présentées dans ce rapport. En revanche, elles le sont dans la synthèse annuelle 2023, disponible au cours de l'été 2024 sur le site internet : atmo-occitanie.org.

En addition, Atmo Occitanie récolte les données météorologiques (vent, précipitations, température, etc.) de la station Météo France située à Montauban. Ces données sont compilées dans ***l'annexe 6***.

3. RÉSULTATS

3.1. Le dioxyde d'azote NO₂

Le dioxyde d'azote est un polluant gazeux principalement émis par le trafic routier. Sa concentration chute rapidement dès que l'on s'éloigne de la source d'émission. En 2021, sur l'agglomération du Grand Montauban, 77% des émissions d'oxydes d'azote (comprenant le dioxyde d'azote NO₂ et le monoxyde d'azote NO) provenaient des transports. Le secteur industriel et le secteur agricole étaient tous deux responsables à hauteur de 7% des émissions d'oxydes d'azote sur le territoire.

3.1.1. Modélisation de la concentration en dioxyde d'azote

La cartographie ci-dessous présente les concentrations de NO₂ obtenues via la modélisation de dispersion des polluants atmosphériques sur le territoire de Montauban Agglomération.

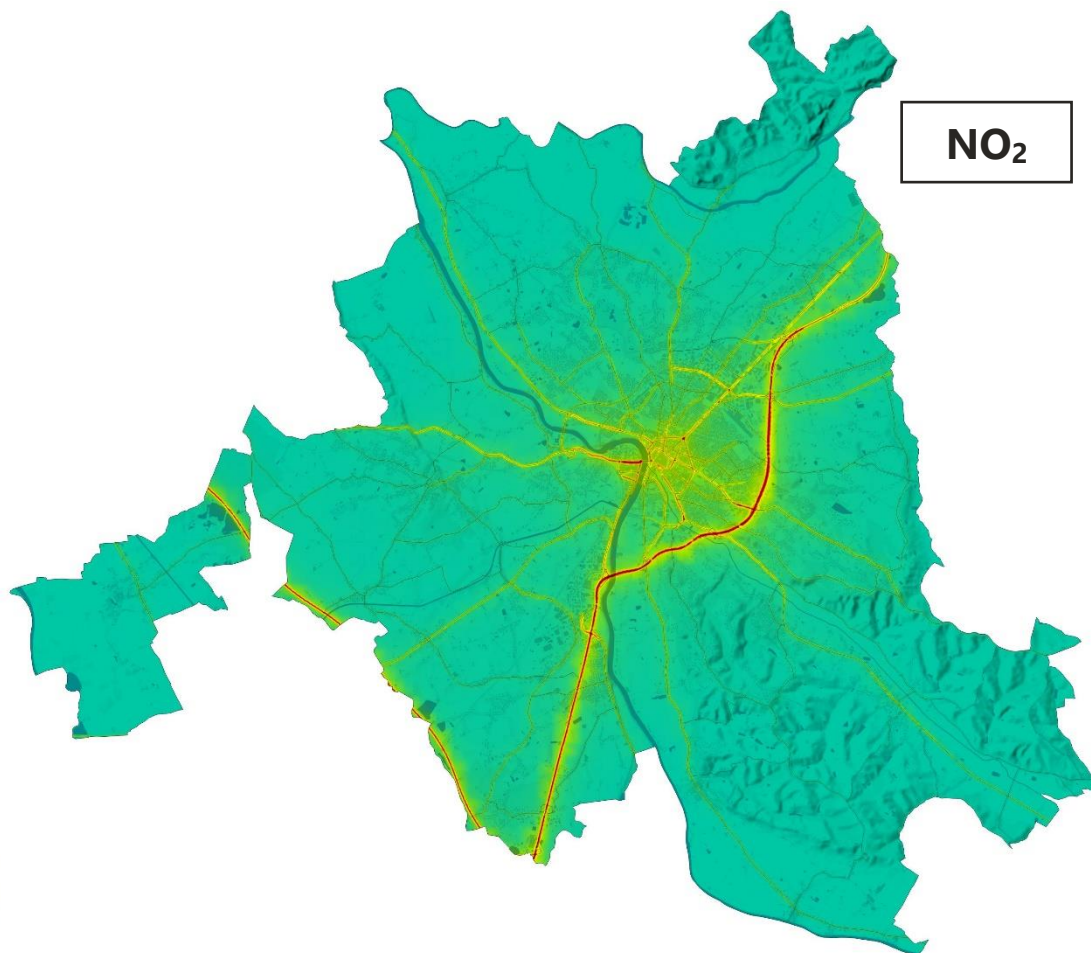
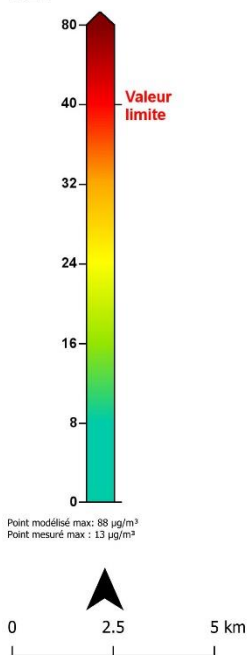
Les concentrations les plus élevées sont retrouvées aux abords des axes routiers importants qui se distinguent nettement sur la cartographie. Contournant la ville de Montauban par l'Est, l'autoroute A20 se démarque particulièrement avec des concentrations atteignant jusqu'à 78 µg/m³. De la même manière, l'autoroute A29, longeant le territoire au Sud-Ouest de Montauban Agglomération, présente des concentrations élevées se démarquant des concentrations de fond.

À l'échelle de l'agglomération de Montauban, les niveaux les plus élevées se situent sur les axes de circulation les plus empruntés et où le trafic s'accumule. L'avenue Aristide Briand, située à l'Ouest du Pont Vieux dans Montauban, est particulièrement marquée par de fortes concentrations de NO₂ avec des niveaux atteignant les 60 µg/m³. Le rondpoint de la Place de la Libération est également proie à des concentrations allant jusqu'à 55 µg/m³.

À ces endroits en 2022, il est estimé qu'entre 200 et 350 personnes étaient soumises à un dépassement de la valeur limite fixée à 40 µg/m³ sur le territoire de la CA du Grand Montauban. Il est à noter que si l'on prend en compte les nouvelles valeurs guides de l'OMS (10 µg/m³), environ 41 250 personnes auraient été impactées par des niveaux de NO₂ supérieures à ces valeurs.

Situation du NO_2 pour la protection de la santé
(en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - Moyenne annuelle)

2022



3.1.2. Mesures de la concentration en dioxyde d'azote NO_2

Le code de l'environnement français intègre deux niveaux d'exposition de la population aux concentrations de certains polluants réglementés :

- L'exposition chronique : qui correspond à une exposition sur le long terme aux concentrations (annuelle)
- L'exposition aiguë : qui correspond à une exposition durant un laps de temps court (horaire ou journalier)

3.1.2.1. Exposition chronique

Afin de garantir une protection de la santé humaine, la réglementation définit une valeur limite pour l'exposition de longue durée. Pour une exposition chronique, la concentration moyenne de dioxyde d'azote ne doit pas dépasser $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'année.


On distingue deux types de concentrations :

- Les concentrations dites de « **fond** », correspondant à des niveaux de pollution représentatifs de la qualité de l'air d'un large secteur géographique (comme une aire urbaine). Elles caractérisent la pollution à laquelle la population de ce secteur est exposée sur le long terme ;

- Les concentrations dites de « **proximité** », notamment en proximité trafic, correspondant à des niveaux de pollutions représentatifs de la qualité de l'air sur une zone plus précise. Ces concentrations dépendant des sources d'émissions ponctuelles et peuvent varier rapidement, à la fois dans l'espace et dans le temps.

En 2023, la campagne d'échantillonneurs passifs a relevé des concentrations de 12 µg/m³ en fond urbain et de 20 µg/m³ en proximité trafic. Le dispositif de mesure pérenne, représentative des niveaux de fond urbain de Montauban, confirme cet ordre de grandeur avec une concentration moyenne annuelle enregistrée de 12 µg/m³. La valeur limite est donc respectée.

L'annexe 5 présente en détail les résultats de la campagne de mesures par échantillonneurs passifs effectuée en 2023 sur le territoire de la CA de Montauban.

Dioxyde d'azote				
		Valeurs réglementaires	Concentration moyenne annuelle	Respect de la réglementation
Exposition de longue durée	Campagne d'échantillonneurs passifs	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	En fond urbain : 12 µg/m ³ Concentrations comprises entre 9 et 17 µg/m ³	Oui
			En proximité trafic : 20 µg/m ³ Concentrations comprises entre 10 et 32 µg/m ³	Oui
Exposition de longue durée	Dispositif de mesures pérenne	40 µg/m ³ en moyenne annuelle	12 µg/m ³	Oui

Ainsi, les mesures en fond urbain à Montauban varient entre 9 et 17 µg/m³ tandis que les mesures en proximité trafic varient entre 10 et 32 µg/m³.

Le dispositif de mesure par échantillonneurs passifs mis en place ne met pas en évidence de dépassement de la valeur limite aux niveaux des points de mesures en fond urbain comme en proximité trafic. Néanmoins, ce dispositif a permis la validation de la modélisation de dispersion des polluants présentée précédemment (la validation du modèle est présentée en **Annexe 4**). Ainsi, si le respect de la valeur limite réglementaire est effectif en tout point d'implémentation des échantillonneurs passifs, la cartographie des concentrations présente quant à elle des dépassements de la valeur réglementaire en divers point du territoire de l'agglomération de Montauban.

Le tableau ci-dessous compare les résultats enregistrés à Montauban par rapport aux concentrations moyennes annuelles mesurées sur d'autres agglomérations.

Concentration moyenne annuelle en dioxyde d'azote						
	Montauban Fond urbain	Montauban Proximité trafic	Montpellier Fond urbain	Agglo. Toulousaine Fond urbain	Agglo. Toulousaine Proximité trafic	Peyrusse-Vieille Fond rural
NO₂	12 µg/m ³ <i>(entre 9 et 17 µg/m³)</i>	20 µg/m ³ <i>(entre 10 et 32 µg/m³)</i>	14* µg/m ³	14* µg/m ³	36*µg/m ³	<1* µg/m ³

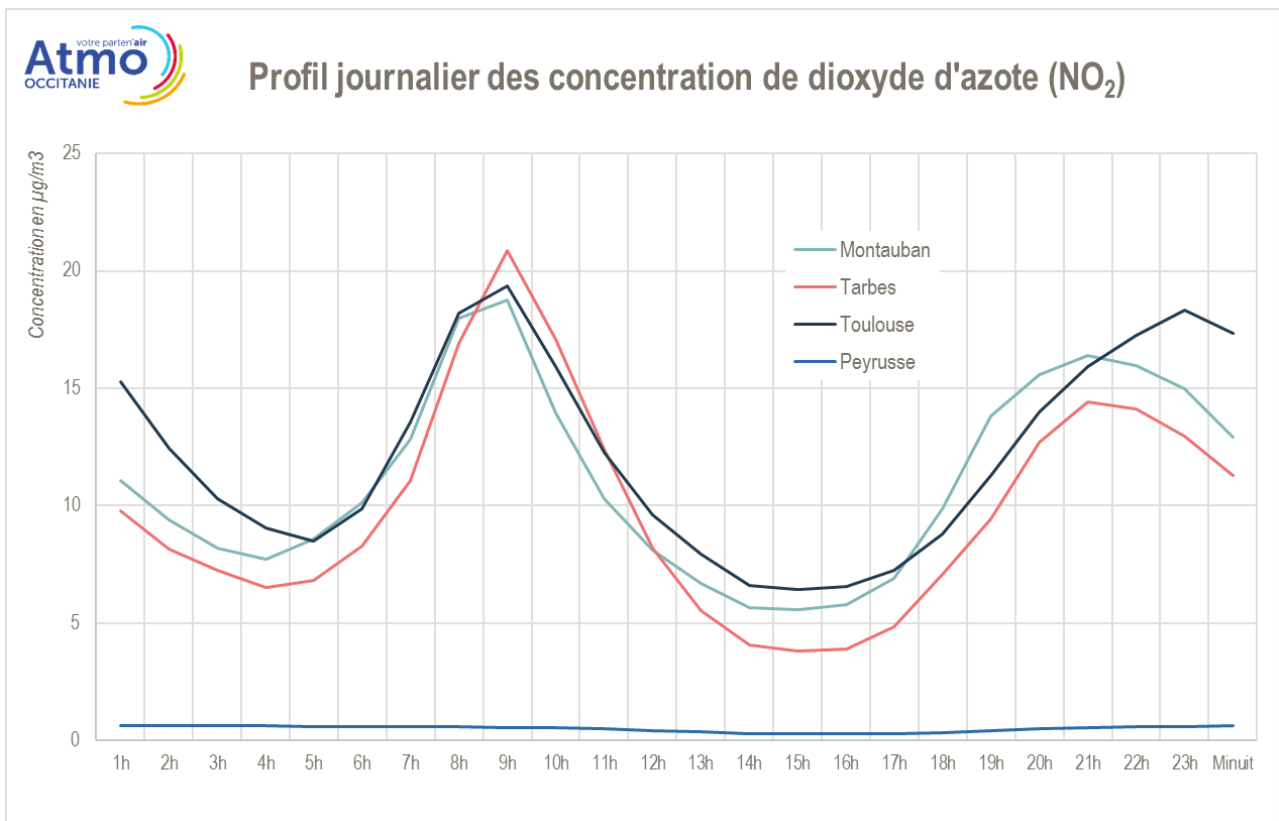
*concentration moyenne annuelle mesurée via un dispositif de mesure en continu

Les niveaux de concentration en NO₂ sur l'agglomération du Grand Montauban en **fond urbain** sont plus faibles que ceux relevés sur la commune de Montpellier ou dans l'agglomération toulousaine. Ce constat est confirmé grâce au dispositif de mesure continue qui a enregistré une concentration moyenne annuelle de 12 µg/m³ à Montauban.

Les concentrations de NO₂ mesurées en **proximité trafic** sont bien plus faibles que celles observées à Toulouse en proximité trafic.

En revanche, les niveaux observés sont bien supérieurs à ceux constatés en fond rural à Peyrusse-Vieille, à distance des principales activités anthropiques.

Le graphique proposé ci-dessous présente les profils journaliers des concentrations en dioxyde d'azote enregistré à Montauban, à Tarbes et Toulouse en situation de fond urbain. La situation en fond rural régional est également présentée à Peyrusse-Vieille.




Les profils journaliers moyens à Montauban, Toulouse et Tarbes présentent les mêmes caractéristiques, à savoir la présence de deux maxima : un en début de matinée et un autre en fin 'après-midi. Ces pics coïncident avec les heures de pointe du trafic routier.

Le profil journalier moyen enregistré à Peyrusse-Vieille ne présente pas de telles variations car se situe en retrait des activités humaines émettant ce polluant.


3.1.2.2. Exposition aigüe

Afin de garantir la protection de la santé humaine, la réglementation européenne définit une valeur limite pour l'exposition de courte durée. Pour une exposition aigüe, la concentration horaire moyenne de dioxyde d'azote ne doit pas dépasser 200 µg/m³ plus de 18h sur une année.

La moyenne horaire maximale enregistrée à Montauban en 2023 est de 108 µg/m³. Aucun dépassement de la valeur limitée n'a été ainsi constaté.

Dioxyde d'azote				
		Valeurs réglementaires	Concentration moyenne horaire	Respect de la réglementation
Exposition de courte durée	Dispositif de mesures pérenne	200 µg/m ³ en moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18h/an	0 dépassement Maximum horaire : 108 µg/m ³	Oui

A la vue des niveaux de concentration mesurés par les échantillonneurs passifs à proximité du trafic routier (où les concentrations en dioxyde d'azote sont les plus élevées), on peut affirmer sans trop d'incertitude que cette valeur limite horaire est respectée sur l'ensemble de la Communauté d'Agglomération du Grand Montauban.

Maximum horaire en dioxyde d'azote					
	Montauban Fond urbain	Montpellier Fond urbain	Agglo. Toulousaine Fond urbain	Agglo. Toulousaine Proximité trafic	Peyrusse-Vieille Fond rural
Max. horaire (µg/m ³)	108 µg/m ³	103 µg/m ³	100 µg/m ³	154 µg/m ³	5 µg/m ³

Le maximum horaire mesuré à Montauban du même ordre de grandeur que ceux enregistrés en fond urbain à Montpellier et Toulouse, et est inférieur à celui enregistré en proximité trafic de Toulouse. En revanche, il est plus élevé que celui mesuré en fond rural à Peyrusse-Vieille.

3.2. Concentrations en particules PM₁₀ et PM_{2.5}

Les particules ont une très grande variété de tailles, de formes et de compositions. Les particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm, 2,5 µm et 1 µm sont appelées respectivement PM₁₀, PM_{2.5} et PM₁. Elles ont plusieurs origines :

- Les émissions directes dans l’atmosphère, provenant de sources anthropiques ou naturelles (érosion, poussières sahariennes, embruns marins...);
- les transformations chimiques à partir de polluants gazeux (particules secondaires) ;
- la remise en suspension, sous l’action du vent ou encore par des véhicules, de particules qui s’étaient déposées au sol.

En 2021, sur l’agglomération de Montauban, 42% des émissions de particules en suspension PM₁₀ et 56% des particules fines PM_{2.5} provenaient du secteur résidentiel.

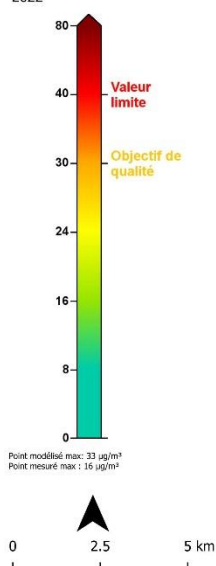
Les mesures des particules en suspensions et particules fines sont réalisées grâce au dispositif de mesure en continu installé rue du Ramierou.

3.2.1. Modélisation de la concentration en PM₁₀ et PM_{2.5}

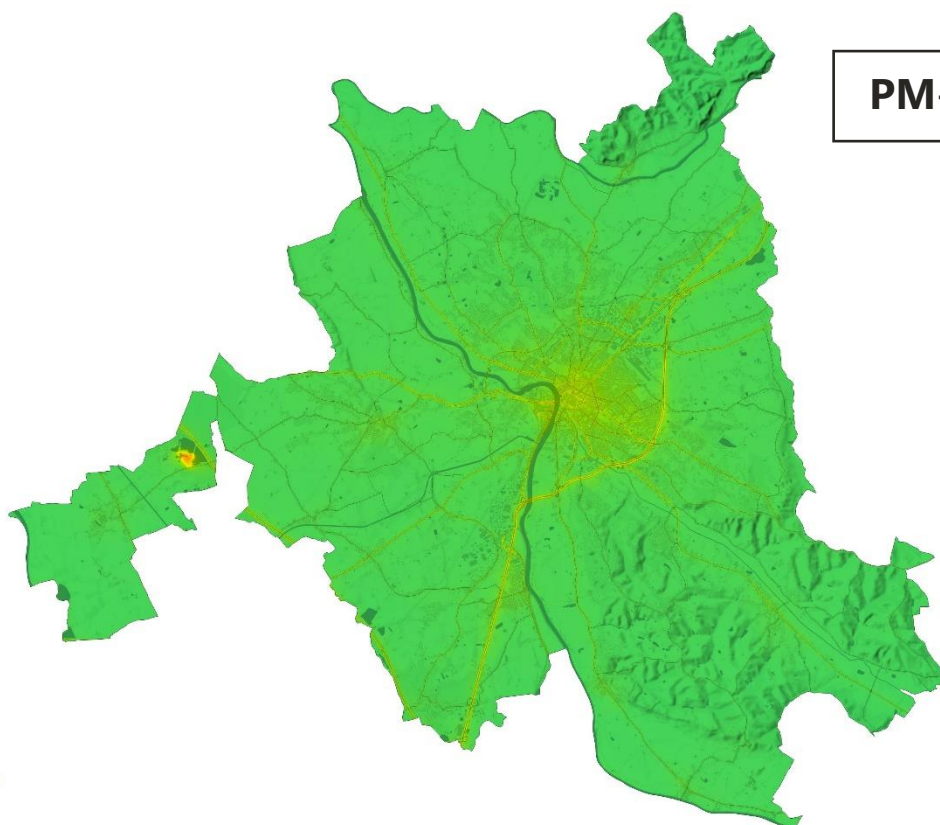
Les niveaux de particules sont globalement plus homogènes sur l’agglomération de Montauban Agglomération que les concentrations de NO₂. On distingue néanmoins les grands axes de circulation tels que l’autoroute A20. La carrière de graviers à l’Ouest du territoire se démarque également avec des émissions de PM₁₀ et PM_{2.5} atteignant respectivement les 33 et 22 µg/m³.

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

2022

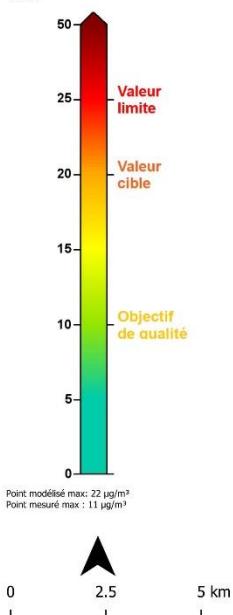


PM₁₀

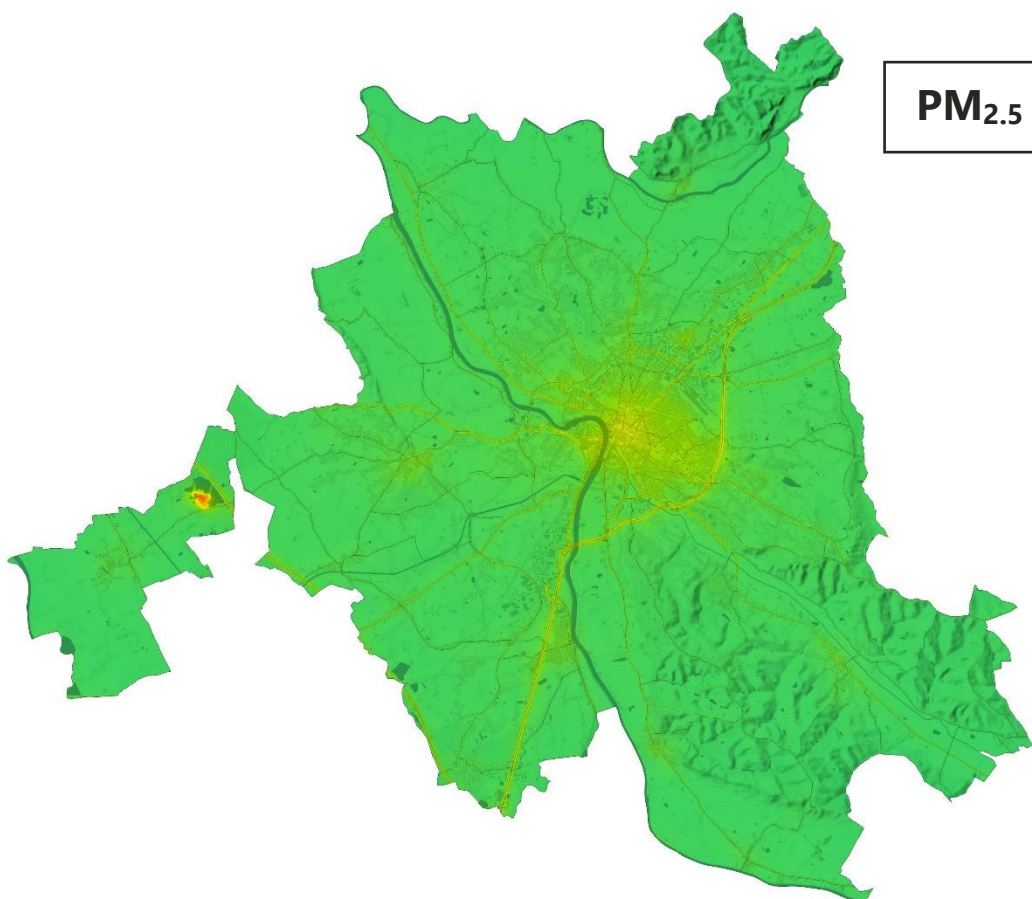


Situation des PM_{2.5} pour la protection de la **santé**
(en µg/m³ - Moyenne annuelle)

2022



Point modélisé max: 22 µg/m³
Point mesuré max: 11 µg/m³



Cette plus faible variation spatiale des concentrations en particules dans l'air s'explique en raison de plusieurs éléments :

- Plusieurs sources de particules inhalables sont répertoriées sur le territoire, et concernent plusieurs secteurs d'activité, de fait la spatialisation de ces sources est plus étendue, et entraîne une pollution plus diffuse, à l'inverse de ce qui est observé pour le NO₂,
- Les particules sont constituées d'un ensemble hétéroclite d'éléments, avec des origines multiples. Elles peuvent être directement émises par les activités humaines (combustion, exploitation de carrières...) ou naturelles (érosion du sol, poussières désertiques, feu de forêt, embruns marins...), et indirectement elles peuvent être issues de la réaction dans l'atmosphère de composés gazeux se transformant en élément solide particulaire.
- Elles peuvent également être transportées par le vent sur de grandes distances.

En 2022, il est estimé qu'aucun habitant de l'agglomération de Montauban n'était soumis à un dépassement de la valeur limite fixée à 40 µg/m³ pour les particules PM₁₀ sur le territoire de la CA du Grand Montauban. Il est à noter cependant que si l'on prend en compte les nouvelles valeurs guides de l'OMS (15 µg/m³), environ 13 000 personnes auraient été impactées par des niveaux de PM₁₀ supérieures à ces valeurs.

Concernant les particules fines PM_{2.5}, il est estimé qu'aucun habitant de l'agglomération de Montauban n'était soumis à un dépassement de la valeur cible fixée à 25 µg/m³. Cependant, Atmo Occitanie a estimé qu'environ 18 750 personnes étaient soumises à un dépassement de l'objectif de qualité fixé à 10 µg/m³. Dans l'hypothèse de la prise en compte des valeurs guides de l'OMS (5 µg/m³), l'agglomération de Montauban serait, dans son entièreté, concernée par des niveaux de PM_{2.5} supérieurs à cette valeur.

3.2.2. Mesures de la concentration en PM₁₀ et PM_{2.5}

3.2.2.1. Exposition chronique

Le code de l'environnement fournit les valeurs moyennes annuelles à respecter afin de limiter l'impact de la pollution aux particules sur la santé et l'environnement.

Particules PM ₁₀ et PM _{2.5}						
		PM ₁₀	PM _{2.5}	Règlementation	Concentration moyenne annuelle	Respect de la réglementation
Exposition de longue durée	PM ₁₀	Valeur limite : 40 µg/m ³ Objectif de qualité : 30 µg/m ³			14 µg/m ³	Oui
	PM _{2.5}	Valeur limite : 25 µg/m ³ Valeur cible : 20 µg/m ³ Objectif de qualité : 10 µg/m ³			10 µg/m ³	Oui

Les moyennes annuelles de particules en situation urbaine de fond à Montauban respectent les différents seuils réglementaires pour la protection de la santé.

Les niveaux observés à Montauban sont du même ordre de grandeur pour les PM₁₀ qu'à ceux enregistrés en fond urbain à Toulouse et Montpellier, et inférieurs par rapport à ceux observés en proximité trafic à Toulouse. Ils sont en revanche supérieurs à ceux constatés en fond rural à Peyrusse-Vieille, à distance des principales activités anthropiques.

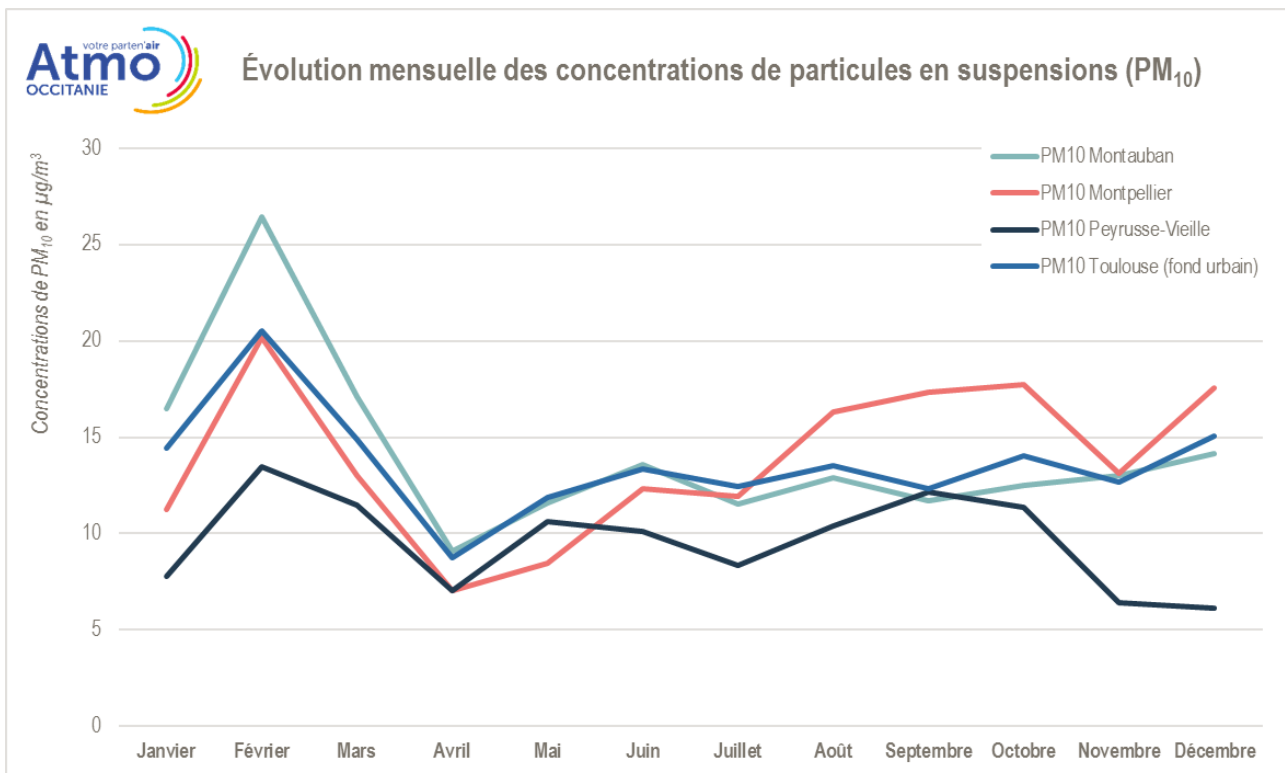
Concernant les particules fines PM_{2.5}, les niveaux observés à Montauban sont légèrement supérieurs qu'à ceux observés en fond urbain de Toulouse et Montpellier, et du même ordre de grandeur qu'à ceux enregistrés en proximité trafic à Toulouse. Ici aussi, ils sont supérieurs à ceux constatés en fond rural à Peyrusse-Vieille.

Concentration en particules PM ₁₀ et PM _{2,5}					
	Montauban <i>Fond urbain</i>	Montpellier <i>Fond urbain</i>	Agglo. Toulousaine <i>Fond urbain</i>	Agglo. Toulousaine <i>Proximité trafic</i>	Peyrusse-Vieille <i>Fond rural</i>
PM ₁₀	14 µg/m ³	14 µg/m ³	15 µg/m ³	21 µg/m ³	10 µg/m ³
PM _{2,5}	10 µg/m ³	9 µg/m ³	9 µg/m ³	10 µg/m ³	6 µg/m ³

Ces résultats sont similaires à ceux observés chaque année sur l'Occitanie, avec des niveaux de particules globalement équivalents entre sites urbains, péri-urbains et certains sites ruraux. Les exceptions concernent :

- Les sites ruraux éloignés de toute activité anthropique, présentant des concentrations plus faibles, comme Peyrusse-Vieille dans le Gers ;
- les sites à proximité immédiate de sources émettrices (trafic routier ou certains industries). Les niveaux sont alors plus élevés : au niveau de fond régional s'ajoute une influence locale.

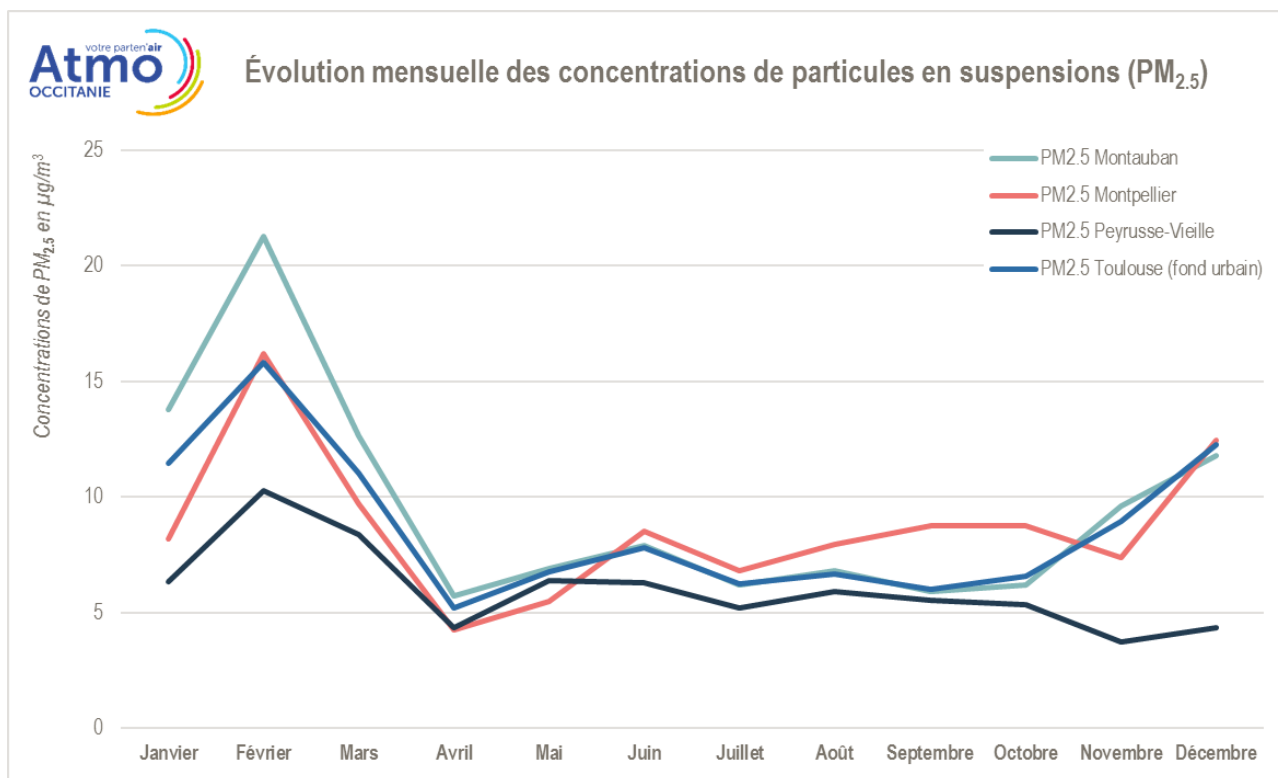
Le graphique ci-dessous présente l'évolution mensuelle des concentrations des **particules en suspension (PM₁₀)** pour les sites de Montauban, de Montpellier, de Toulouse en fond urbain, et du fond rural régional Peyrusse-Vieille.



L'évolution mensuelle des concentrations de PM₁₀ à Montauban pour l'année 2023 présente des maxima durant les périodes hivernales avec une concentration mensuelle moyenne maximale atteinte en février.

Cette tendance se retrouve également lorsque l'on observe les évolutions mensuelles des concentrations en situation de fond urbain à Toulouse et Montpellier, mais également en situation de fond rural à Peyrusse-Vieille.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution mensuelle des concentrations des **particules fines (PM_{2.5})** pour les sites de Montauban, de Montpellier, de Toulouse, et du fond rural régional Peyrusse-Vieille.



L'évolution mensuelle des concentrations de PM_{2.5} à Montauban pour l'année 2023 présente également des maxima durant les périodes hivernales avec, ici aussi, une concentration mensuelle moyenne maximale atteinte en février.

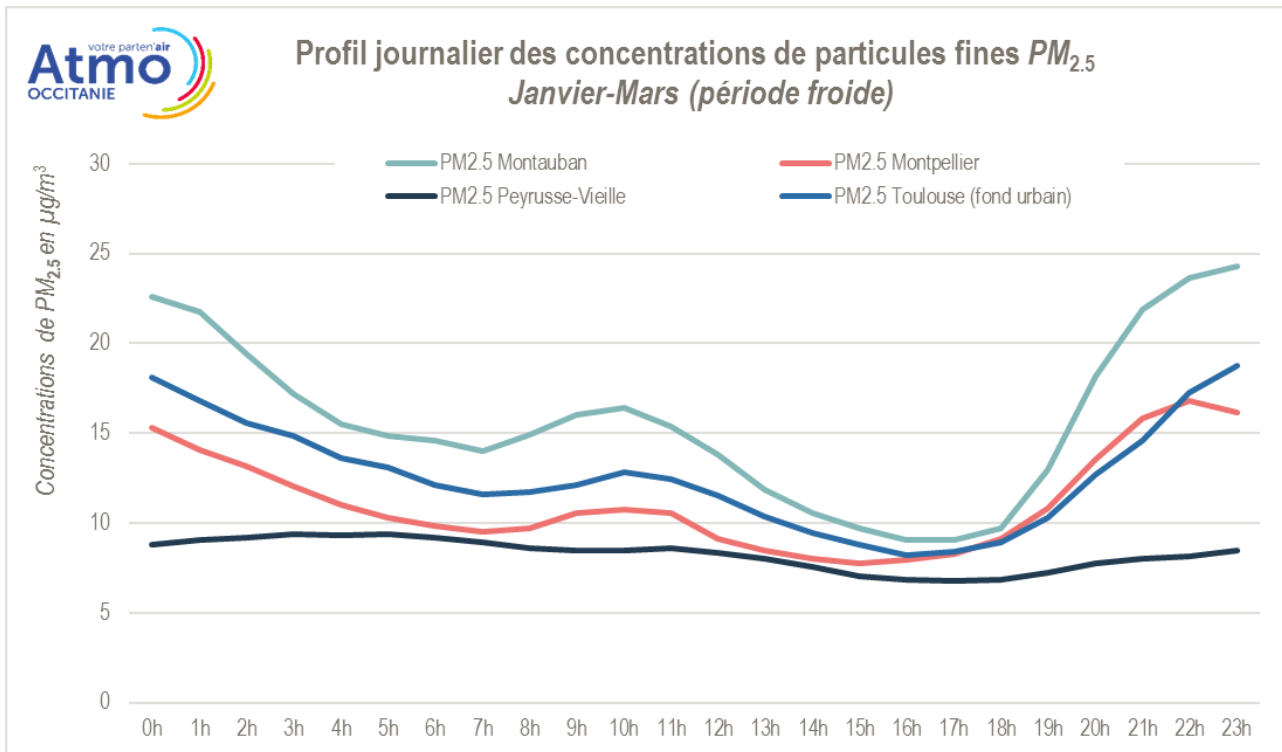
Cette tendance se retrouve également lorsque l'on observe les évolutions mensuelles des concentrations en situation de fond urbain à Toulouse et Montauban, mais également en situation de fond rural à Peyrusse-Vieille.

Ces situations traduisent l'influence des émissions de PM₁₀ et PM_{2.5} issues des dispositifs de chauffage au bois et des conditions météorologiques saisonnières moins propices à la dispersion des polluants.

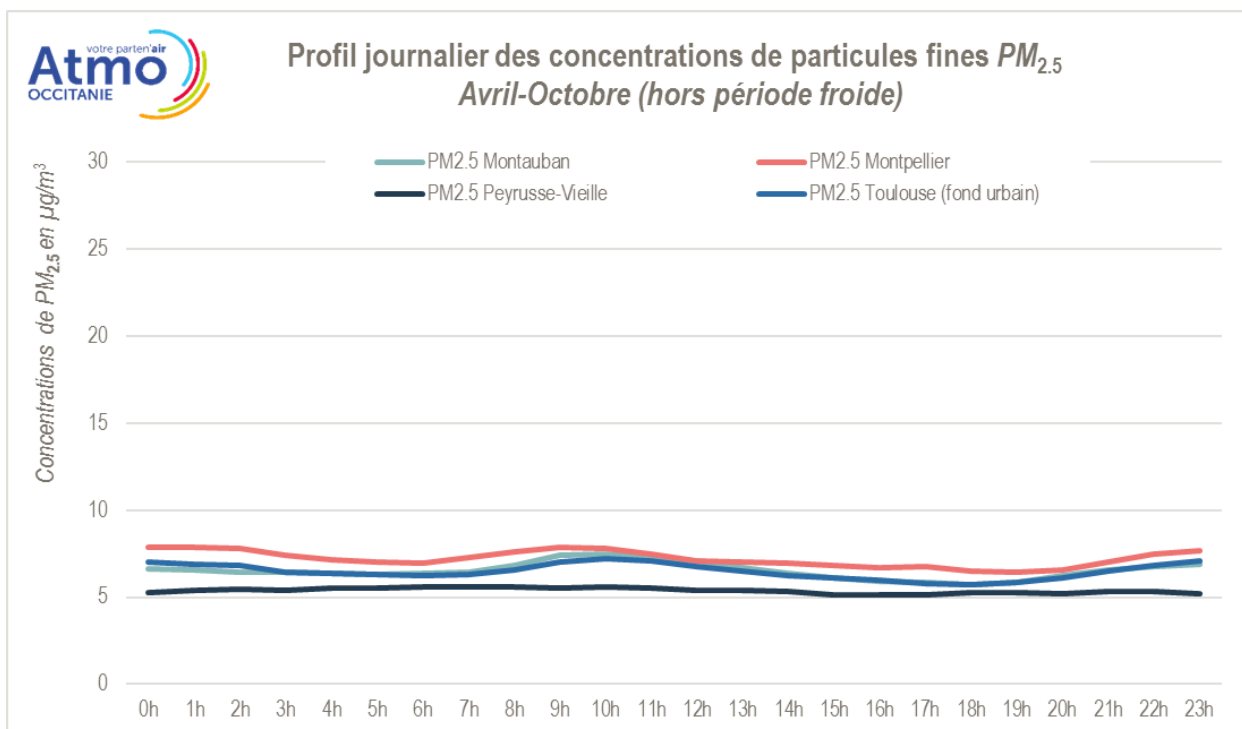
Les graphiques ci-dessous présentent respectivement les profils journaliers des concentrations en particules fines PM_{2.5} en *période froide* (janvier à mars 2023) et *hors période froide* (avril à octobre 2023).

Le profil journalier des concentrations en particules fines pour la période froide présente deux maxima au cours de la journée : un premier entre 8 et 11 heure du matin, et un second, plus prononcé, à partir de 18 heure du soir jusqu'à 2 heure du matin. Ces maxima s'expliquent par l'impact du chauffage à bois sur les concentrations en particules fines dans l'atmosphère. En effet, c'est à ces horaires que la population est la plus à même à être à son domicile et à actionner son chauffage pour se réchauffer.

Il est également possible de noter que ces maxima sont beaucoup moins perceptibles à l'échelle du fond rural de Peyrusse-Vieille, milieu rural avec peu d'habitation.



A l'inverse, hors période froide, les concentrations de particules fines $PM_{2.5}$ sont quasiment constantes tout au long de la journée, car non impactées par le chauffage au bois à ces périodes, et ce pour les fonds urbains de Montauban, Montpellier et Toulouse, ou le fond rural de Peyrusse-Vieille



3.2.2.2. Exposition aigüe

Dans le code de l'environnement, seules les PM₁₀ sont encadrées par une valeur limite fixée en moyenne journalière. Le seuil journalier de 50 µg/m³ en particules PM₁₀ ne doit pas être dépassé plus de 35 jours dans l'année (valeur de limite journalière).

Particules en suspension PM ₁₀				
PM ₁₀		Valeurs réglementaires	Concentration moyenne horaire	Respect de la réglementation
Exposition de courte durée	PM ₁₀	Max. journalier (µg/m ³)	50 µg/m ³	Oui
		Nombre de jour > 50 µg/m ³	0	Oui

En 2023, cette valeur n'a pas été dépassée une seule fois à Montauban : **la réglementation est donc respectée.**

Concentration en particules PM ₁₀					
PM ₁₀	Montauban Fond urbain	Montpellier Fond urbain	Agglo. Toulousaine Fond urbain	Agglo. Toulousaine Proximité trafic	Peyrusse-Vieille Fond rural
Max. journalier (µg/m ³)	50 µg/m ³	48 µg/m ³	55 µg/m ³	73 µg/m ³	35 µg/m ³
Nombre de jour > 50 µg/m ³	0	0	1	6	0

Comme pour la moyenne annuelle, la pollution de pointe en PM₁₀ mesurée à Montauban est plus faible, ou similaire, à celle observée dans les autres fonds urbains, mais plus élevée qu'en fond rural.

4. CONCLUSION

Depuis 2020, Atmo Occitanie assure le suivi de la qualité de l'air sur la Communauté d'Agglomération (CA) du Grand Montauban. Les concentrations des principaux polluants réglementés dans l'air ambiant sont évaluées et comparées aux seuils réglementaires en vigueur.

En 2023, le programme de surveillance s'est étoffé d'une campagne de mesure du dioxyde d'azote (NO₂) à l'aide de dispositifs passifs afin d'observer les niveaux de concentrations au plus près des axes routiers les plus importants de l'agglomération permettant ainsi une meilleure précision du modèle de dispersion des polluants sur l'agglomération. Ces cartographies permettent d'évaluer leur concentration en tout point du territoire.

Dioxyde d'azote (NO₂)

- **Respect de l'ensemble des seuils réglementaires en fond urbain.**
- **En 2022, il est estimé qu'entre 200 et 350 personnes étaient soumises à des niveaux de NO₂ supérieurs à la valeur limite (40 µg/m³) sur l'agglomération de Montauban, soit 0,5% de la population totale du territoire.**
- Les niveaux de NO₂ sont maximaux le long des axes routiers, notamment lors des horaires de pointe du trafic routier. Les émissions du trafic routier influencent également les concentrations mesurées en situation de fond urbain, sur les principales plages journalières de trafic.
- Des niveaux plus élevés ont été mesurés au niveau de l'avenue Aristide Briand et du rondpoint de la Place de la Libération, niveaux qui résultent probablement d'une congestion forte localement.

Particules en suspensions (PM₁₀) et particules fines (PM_{2.5})

- **Respect de l'ensemble des seuils réglementaires en fond urbain.**
- **En 2022, il est estimé qu'aucune personne n'était soumise à des niveaux de particules supérieures aux valeurs limites réglementaires.** Cependant, Atmo Occitanie a estimé qu'environ 18 750 personnes étaient soumises à un dépassement de l'objectif de qualité fixé à 10 µg/m³ pour les PM_{2.5}.
- Les concentrations en PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées en 2023 à Montauban en fond urbain sont du même niveau que la ville de Montpellier et inférieures à celles enregistrées à Toulouse.
- Les niveaux de particules en suspensions et fines sont plus homogènes que le NO₂ sur le territoire avec néanmoins des concentrations légèrement plus élevées aux abords des gros axes de circulation.
- Les niveaux de particules en suspensions et fines sont plus élevés lors des périodes froides et fluctuent au cours de la journée selon les phases d'utilisation des dispositifs de chauffage dans l'agglomération.

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : DÉFINITION DES VALEURS RÉGLEMENTAIRES

ANNEXE 2 : PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTS POLLUANTS ÉTUDIÉS

ANNEXE 3 : MÉTHODOLOGIE DE LA MODÉLISATION ET DE LA CARTOGRAPHIE

ANNEXE 4 : MÉTHODOLOGIE DE VALIDATION DU MODÈLE

ANNEXE 5 : DISPOSITIF DE MESURE PAR ÉCHANTILLONNEURS PASSIFS ET RESULTATS

ANNEXE 6 : CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES LORS DE L'ÉTUDE

ANNEXE 1 : DÉFINITION DES VALEURS REGLEMENTAIRES

Seuil d'alerte

Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de l'ensemble de la population et à partir duquel des mesures doivent immédiatement être prises.

Seuil de recommandation et d'information

Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes de personnes particulièrement sensibles et pour lequel des informations immédiates et adéquates sont nécessaires.

Valeur limite

Niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement. À atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

Valeur cible

Niveau fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement. À atteindre dans la mesure du possible sur une période donnée.

Objectif de qualité

Niveau de concentration à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

L'unité principalement employée pour la concentration des polluants est le microgramme par mètre-cube notée $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations des métaux sont données en nanogramme par mètre-cube et la notation utilisée est ng/m^3 .

1 μg = un millionième de gramme

1 ng = un milliardième de gramme

ANNEXE 2 : PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTS POLLUANTS ÉTUDIÉS

Le dioxyde d'azote - NO₂

Sources

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

Le NO₂ est un gaz irritant pour les bronches. Il participe aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre.

Les principales sources sont les véhicules et les installations de combustion (centrales thermiques, chauffage...). Le NO₂ est également présent à l'intérieur des locaux où fonctionnent des appareils au gaz tels que gazinières, chauffe-eau au gaz.

Le pot catalytique a permis, depuis 1993, une diminution des émissions des véhicules à essence. Néanmoins, l'effet reste encore peu perceptible compte tenu de l'accroissement du trafic automobile.

Des études montrent qu'une fois sur deux les européens prennent leur voiture pour faire moins de trois kilomètres, une fois sur quatre pour faire moins d'un kilomètre et une fois sur huit pour faire moins de cinquante mètres ; or le pot catalytique n'a une action sur les émissions qu'à partir de dix kilomètres.

Effets sur la santé

Le dioxyde d'azote est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Dès que sa concentration atteint 200 µg/m³, il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper réactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

Effets sur l'environnement

Les oxydes d'azote participent aux phénomènes des pluies acides, à la formation de l'ozone troposphérique, dont ils sont l'un des précurseurs, à l'atteinte de la couche d'ozone stratosphérique et à l'effet de serre.

Les particules en suspension PM₁₀ et les particules fines PM_{2.5}

Sources

Les particules, notées PM pour « particulate matter » soit « matière particulaire » en français, peuvent être d'origine naturelle (embruns océaniques, éruption volcaniques, feux de forêt, érosion éolienne des sols, pollens...) ou anthropique (liées à l'activité humaine). Dans ce cas, elles sont issues majoritairement de la combustion incomplète des combustibles fossiles (circulation automobile, centrale thermique, sidérurgie, cimenteries, incinération de déchets, manutention de produits pondéraux, minerais et matériaux...).

Une partie d'entre elles, les particules secondaires, se forme dans l'air par réaction chimique à partir de polluants précurseurs comme les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et les Composés Organiques Volatils (COV). On distingue les particules de diamètre inférieur à 10 micromètres (PM₁₀), à 2,5 micromètres (PM_{2.5}) et à 1 micromètre (PM₁).

Effets sur la santé

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

Les plus grosses particules sont retenues par les voies aériennes supérieures. Les plus fines pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire où elles peuvent provoquer une inflammation et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Les particules ultra fines sont suspectées de provoquer également des effets cardio-vasculaires. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes : c'est notamment le cas de certaines particules émises par les moteurs Diesel qui véhiculent certains hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Une corrélation a été établie entre les niveaux élevés de PM₁₀ et l'augmentation des admissions dans les hôpitaux et des décès, liés à des pathologies respiratoires et cardio-vasculaires.

Ces particules sont quantifiées en masse mais leur nombre peut varier fortement en fonction de leur taille.

Effets sur l'environnement

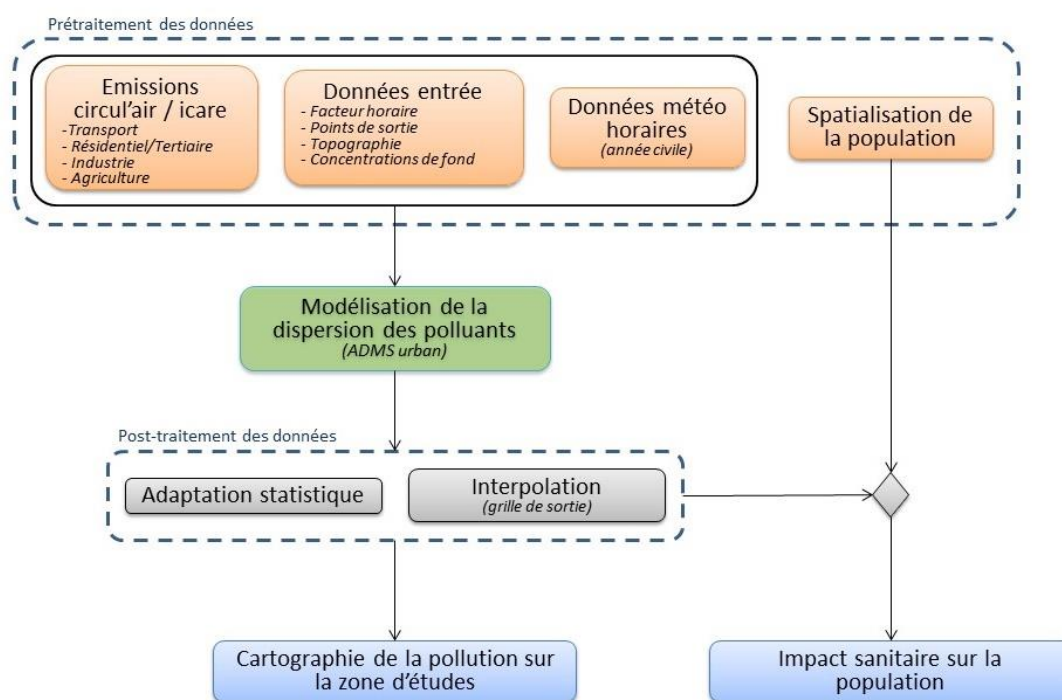
Les effets de salissures des bâtiments et des monuments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes.

ANNEXE 3 : MÉTHODOLOGIE DE LA MODÉLISATION ET DE LA CARTOGRAPHIE

Modélisation de la dispersion des polluants

Principe de la méthode

Méthodologie utilisée pour la modélisation de la dispersion à fine échelle sur la zone d'études



Le modèle ADMS-Urban permet de simuler la dispersion des polluants atmosphériques issus d'une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques selon des formulations gaussiennes.

Ce logiciel permet de décrire de façon simplifiée les phénomènes complexes de dispersion des polluants atmosphériques. Il est basé sur l'utilisation d'un modèle gaussien et prend en compte la topographie du terrain de manière assez simplifiée, ainsi que la spécificité des mesures météorologiques (notamment pour décrire l'évolution de la couche limite).

Le principe du logiciel est de simuler heure par heure la dispersion des polluants dans un domaine d'étude sur une année entière, en utilisant des chroniques météorologiques réelles représentatives du site. À partir de cette simulation, les concentrations des polluants au sol sont calculées et des statistiques conformes aux réglementations en vigueur (notamment annuelles) sont élaborées. L'utilisation de données météorologiques horaires sur une année permet en outre au modèle de pouvoir calculer les percentiles relatifs à la réglementation.

Le logiciel ADMS-Urban est un modèle gaussien statistique cartésien. Le programme effectue les calculs de dispersion individuellement pour chacune des sources (ponctuelles, linéiques et surfaciques) et somme pour chaque espèce les contributions de toutes les sources de même type.

Pour le dioxyde d'azote, les émissions introduites dans ADMS-Urban concernent les NO_x. Or seule une partie de NO_x est oxydée en NO₂ en sortie des pots d'échappement. L'estimation des concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) à partir de celles d'oxydes d'azote (NO_x) est réalisée par le biais de 2 types de module intégrés dans le logiciel ADMS-Urban.

Les données d'entrée du modèle hors déplacements routiers

L'objet de cette section est de présenter la méthodologie utilisée pour agréger les données nécessaires à la modélisation fine échelle sur la zone d'études.

Les données intégrées

Facteurs horaires

Les données de sortie d'émissions sont des données annuelles et/ou horaires sur une année civile complète.

Un facteur horaire moyen par type de voiries et par jour de la semaine est attribué à chaque axe routier pris en compte dans la modélisation. Ce facteur horaire est calculé avec les émissions horaires du trafic linéique.

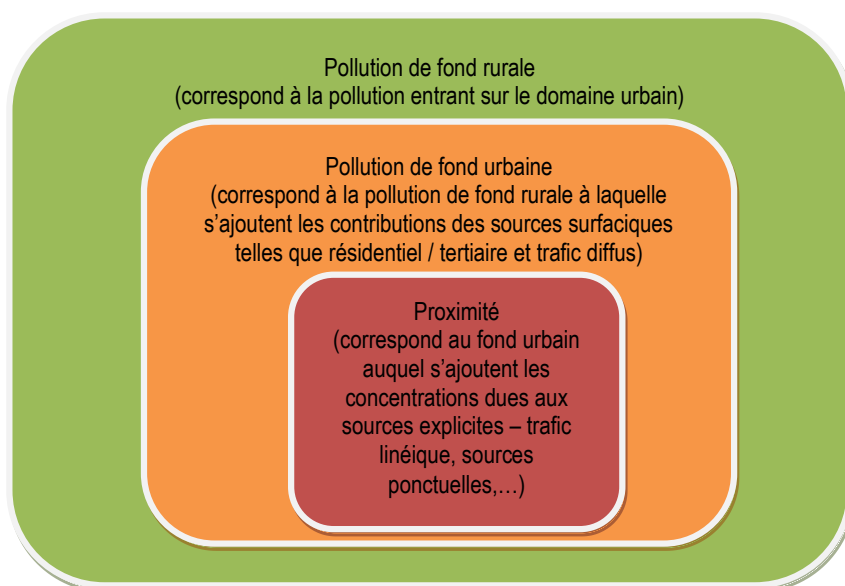
Un facteur horaire constant est utilisé pour le secteur industriel.

Un facteur horaire moyen sur la zone pour l'ensemble des émissions surfaciques (trafic surfacique, résidentiel/tertiaire, agriculture) est calculé. Ce calcul provient d'une moyenne pondérée entre les émissions horaires du trafic routier et celles du secteur résidentiel tertiaire sur l'ensemble du domaine d'études.

Pollution de fond

Les choix de caractérisation de la pollution de fond et des sources d'émissions complémentaires au trafic routier à intégrer au modèle sont des étapes déterminantes dans une étude de modélisation en milieu urbain. Pour réaliser ces choix, il est tout d'abord essentiel de comprendre les différentes contributions régionales et locales dans la structure de la pollution urbaine. Celles-ci peuvent ainsi être décrites par le schéma suivant.

Principales échelles de pollution en milieu urbain



Lorsque l'on s'intéresse à la pollution de fond urbaine au sens d'un modèle, celle-ci diffère sensiblement du fond urbain mesuré par les capteurs. En effet, au sens du modèle, la pollution de fond correspond à la pollution entrant sur le domaine modélisé. Les capteurs pour leur part, lorsqu'ils sont installés sur ce domaine, ne permettent pas de soustraire l'ensemble des sources locales. Ainsi la pollution de fond issue de la station rurale Peyrusse-Vieille dans le Gers est utilisée. Les biais potentiels quant à cette pollution de fond sont ensuite corrigés grâce à l'adaptation statistique.

Données météorologiques

La modélisation est réalisée pour obtenir des concentrations horaires. Les calculs de dispersion ont donc été menés à partir des mesures horaires de plusieurs paramètres météorologiques (vitesse et direction du vent, couverture nuageuse, température, etc.) fournies par la station météorologique la plus proche de la zone d'études.

Spatialisation de la population

La législation européenne sur la surveillance de la qualité de l'air requiert la cartographie des zones géographiques de dépassement d'une valeur limite et l'estimation du nombre d'habitants exposés au dépassement. Les cartographies des populations exposées à la pollution de l'air ambiant nécessitent deux variables : les concentrations de polluant d'une part et la population d'autre part, ainsi qu'une méthodologie permettant de croiser ces deux informations. Le LCSQA a été chargé de travailler sur cette problématique afin d'harmoniser les méthodes employées en France dans le domaine de la surveillance de la qualité de l'air. Il a ainsi développé une approche adaptée à toutes les résolutions spatiales rencontrées pour une étude de la qualité de l'air. La méthode de spatialisation nommée « MAJIC » permet une description très fine de la population à une échelle locale.

Les données des locaux d'habitation de la base MAJIC foncière délivrée par la DGFIP sont croisées avec des bases de données spatiales de l'IGN et les statistiques de population de l'INSEE pour estimer un nombre d'habitants dans chaque bâtiment d'un département. Cette méthodologie garantit ainsi une homogénéité des données de population spatialisées utilisées dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air, que ce soit au

niveau local ou au niveau national. Le LCSQA assure la mise en œuvre de cette approche et met à disposition des AASQA les données spatiales de la population qui en sont issues.

Post traitement de la modélisation

Adaptation statistique de données

Les sorties brutes de modèles de dispersion tels qu'ADMS correspondent rarement à la réalité des concentrations mesurées. En effet, différents effets sont difficilement pris en compte par la modélisation :

Les surémissions de certains polluants dues à des bouchons suite à un accident

La pollution de fond sur laquelle vient s'ajouter la dispersion des sources prises en compte (trafic routier, industrie, chauffage, etc.). En effet l'évolution de la pollution de fond entre deux heures consécutives est difficilement prise en compte par les modèles de dispersion. L'apport de pollution provenant de l'extérieur de la zone de modélisation.

Ces différents points sont les sources principales de différence entre les sorties brutes de la modélisation et les mesures. L'hypothèse retenue dans cette méthodologie est que cette différence est homogène sur la zone d'étude et peut être représentée par un biais moyen horaire. Le but de l'adaptation statistique est donc d'estimer ce biais moyen sur la zone pour chaque heure de l'année et pour chaque polluant.

Les stations de fond d'Atmo Occitanie sont utilisées pour estimer ce biais horaire.

Interpolation des données

Les données de sortie de modélisation ne sont pas spatialement homogènes dans le domaine d'études. Aussi avant de créer une cartographie des concentrations, une interpolation par pondération inverse à la distance est effectuée sur une grille régulière.

Cartographie et Impact sur les populations

Cartographie

Les cartes de dispersion de la pollution sont obtenues en géo référençant l'interpolation des données décrites précédemment avec un Système d'Information Géographique (SIG).

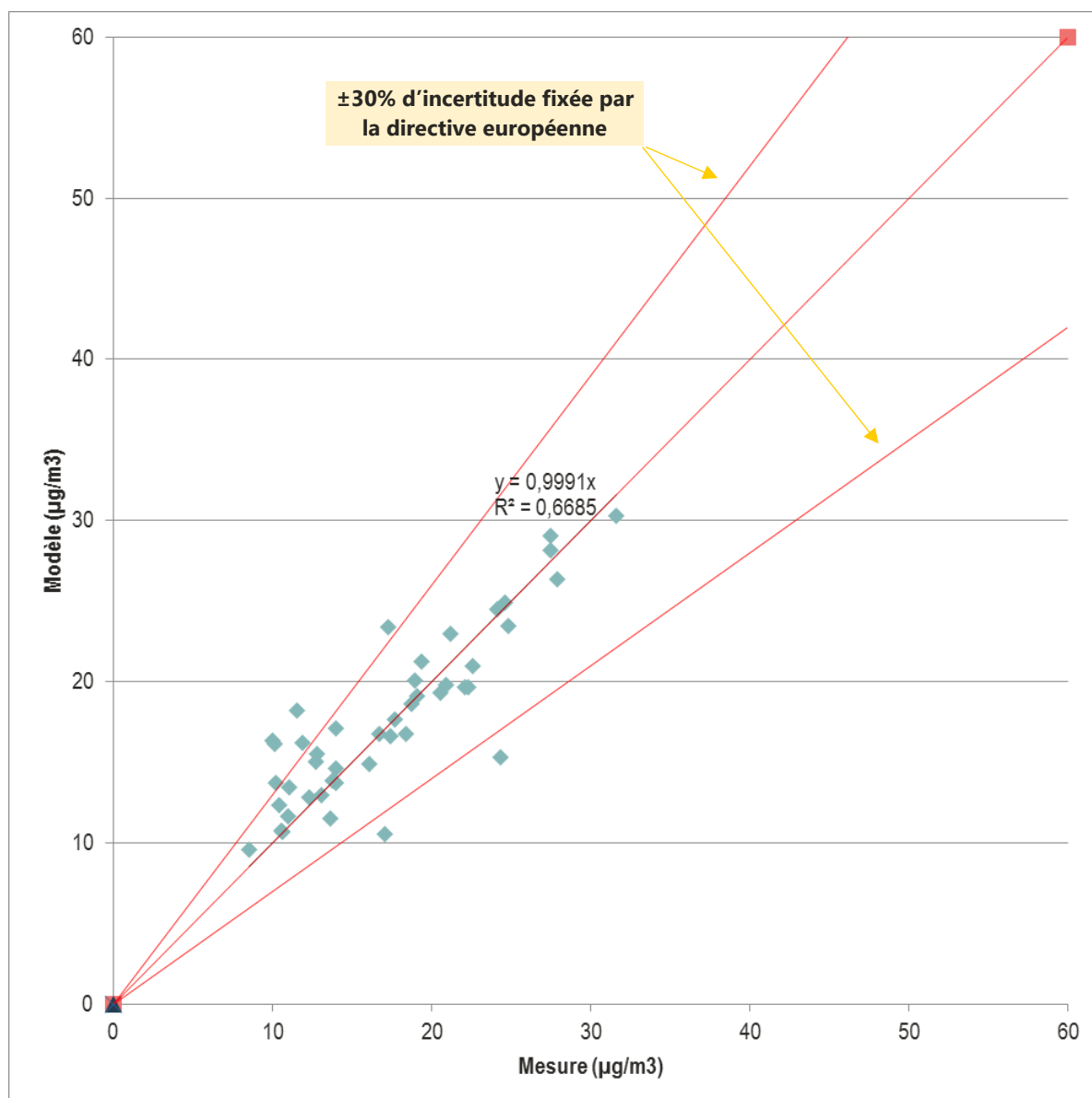
Les cartes issues du SIG permettent de suivre l'évolution de la pollution sur une zone donnée en comparant les cartes sur plusieurs années.

Impact sur les populations

Les concentrations interpolées de polluants dépassant les valeurs réglementaires sont croisées avec la base « MAJIC » qui fournit les données de population spatialisée.

ANNEXE 4 : MÉTHODOLOGIE DE VALIDATION DU MODÈLE

Les critères statistiques utilisés pour valider le modèle ont été choisis en tenant compte des recommandations du faites par J.C. Chang et S. R. Hanna dans leurs mesures de la performance de modèles de qualité de l'air¹.



Dans le tableau ci-après, nous indiquons les performances statistiques du modèle relativement aux concentrations moyennes annuelles en NO₂ modélisées et observées sur le domaine d'études.

¹ J.C Chang and S. R Hanna : Air quality model performance evaluation, Meteorology and Atmospheric Physics 87, 167–196 (2004)

Indicateurs statistiques	Modèle 2022	Caractéristiques d'un modèle performant
FB	-0,03	-0,3 < FB < 0,3
MG	0,96	-0,7 < MG < 1,3
NMSE	0,16	NMSE <=2
VG	1,04	VG < 1,6
FAC2	1,00	FAC2 > 0,5
r	0,67	R=1

Les valeurs proches de 0 du biais fractionnel (FB) indiquent qu'en moyenne, le modèle tend à bien estimer les valeurs observées. Le tracé mesure-modèle indique une légère surestimation des concentrations modélisées dans les concentrations modérées.

NMSE permet de juger de l'erreur relative commise par le modèle. Plus NMSE est faible, plus les concentrations simulées par le modèle sont proches des observations. Le NMSE obtenu pour le modèle est correct.

- L'indicateur logarithmique VG est autant sensible aux valeurs fortes qu'aux valeurs faibles. Proche de 1, l'écart entre mesure et observation est assez faible.
- FAC2 renseigne sur la proportion des valeurs simulées à moins d'un facteur 2 des observations. 100% des valeurs simulées sont ainsi à moins d'un facteur 2 des observations.
- La corrélation mesure la capacité du modèle à reproduire les variations temporelles des observations. Dans le cas du modèle ADMS, **82%** des concentrations modélisées sont corrélées avec les mesures.
- La directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe fixe des objectifs de qualité pour les concentrations modélisées.
- Pour le NO₂, l'erreur sur la moyenne annuelle doit être inférieure à ±30 % sur les sites de fond (sites en bleu sur le graphe). Cette incertitude est représentée par les lignes dorées sur le graphe.

L'erreur sur la moyenne annuelle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Erreur} = \frac{(\text{modèle} - \text{mesure})}{\text{mesure}}$$

Les critères de performance trouvés dans la littérature sont atteints ou suffisamment approchés pour le modèle utilisé lequel peut être considéré comme relativement performant.

Les concentrations sont donc correctement modélisées.

Principe de la méthode

Afin de vérifier la validité des résultats obtenus par la modélisation, nous avons utilisé des paramètres statistiques permettant de comparer les résultats de la modélisation aux résultats fournis par les échantillonneurs passifs.

Il existe dans la littérature de nombreux indicateurs ou outils de performance statistiques afin d'évaluer quantitativement la qualité d'un modèle de dispersion atmosphérique.

Le guide « evaluating the performance of Air Quality Models -3 juin 2010 » du department for environment, food & Rural Affairs of United Kingdom recommande une certaine simplification et rationalisation en adoptant un nombre limité d'indicateurs statistiques.

Les indicateurs statistiques ont été choisis en suivant les recommandations faites par Chang et Hanna dans leurs mesures de la performance de modèles de qualité de l'air.

Les performances des deux modèles sont évalués par les indicateurs statistiques suivants (formule indiquée ci-après) :

- Le biais fractionnel (fractional bias) FB ;
- Le biais moyen géométrique (MG) ;
- L'erreur quadratique normalisée (« normalized mean square error ») NMSE ;
- La variance géométrique (VG) ;
- Le coefficient de corrélation Corr ;
- La fraction de prédiction comprise dans un facteur 2 FAC2.

Un modèle parfait aurait MG, VG, R et FAC2 = 1; et FB et NMSE = 0.

Notons que, d'après les conventions utilisées, les valeurs de FB sont négatives en cas de surestimation, et positives en cas de sous-estimation des valeurs.

Des critères de performances acceptables ont été développés dans Chang et Hanna [2004] et Hanna et al [2004] à partir de l'évaluation de nombreux modèles sur un grand nombre d'expériences.

Présentation des indicateurs statistiques utilisés

On utilise les notations suivantes :

- Co : observation au temps i
- Cp : valeur modélisée au temps i
- N : nombre de couples de valeurs
- Les termes surmontés d'un trait désignent la moyenne temporelle de la grandeur indiquée.

Les différents paramètres présentés ici permettent de quantifier trois types d'erreur :

- L'erreur systématique, qui détermine si le modèle a tendance à sous-estimer ou surestimer globalement la réalité ;
- L'erreur locale, qui caractérise la « précision » des données du modèle (c'est à dire leur étalement autour de leur moyenne) ;
- L'erreur totale, qui caractérise la « justesse » globale des données du modèle par rapport à la réalité.

Il est intéressant lorsque l'on compare deux jeux de données de pouvoir estimer ces différents types d'erreur. Dans la suite, le type d'erreur que permet de quantifier chaque paramètre est indiqué.

$$FB = \frac{(\overline{C_o} - \overline{C_p})}{0.5 (\overline{C_o} + \overline{C_p})}$$

FB : BIAIS FRACTIONNEL

Signification : Le biais fractionnel est une normalisation de la valeur du biais. Ceci présente l'avantage de permettre la comparaison des valeurs de ce paramètre obtenues sur des échantillons différents. Ceci permet aussi de pouvoir interpréter la valeur du biais sans avoir à se référer aux données considérées : une même valeur de FB correspond à peu près au même type d'erreur quel que soit le cas étudié ou l'unité utilisée pour exprimer les grandeurs considérées.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : FB peut être positif ou négatif. Il est sans dimension. Si les valeurs observées et mesurées sont positives ou nulles (comme dans le cas de concentrations), FB est compris entre -2 et 2. Une valeur nulle indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur négative implique, qu'en moyenne, le modèle sous-estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.

Une valeur positive implique qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

NMSE : NORMALISED MEAN SQUARE ERROR

$$\text{NMSE} = \frac{(C_o - C_p)^2}{C_o \cdot C_p}$$

Signification : ce terme qualifie l'erreur totale existant entre observation et mesure. Il est normalisé ce qui présente l'avantage de permettre la comparaison des valeurs de ce paramètre obtenu sur des échantillons différents. Ceci permet aussi de pouvoir interpréter la valeur du NMSE sans avoir à se référer aux données considérées : une même valeur de NMSE correspond à peu près au même type d'erreur quel que soit le cas étudié ou l'unité utilisée pour exprimer les grandeurs considérées.

Valeur recherchée : 0

Interprétation des valeurs : La NMSE est une grandeur positive ou nulle. Elle est sans dimension. Si elle est nulle, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus la NMSE est grande, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La NMSE ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de NMSE peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs fort, soit aux deux à la fois.

Type d'erreur : totale

MG : GEOMETRIC MEAN BIAS

$$\text{MG} = \exp (\overline{\ln C_o} - \overline{\ln C_p})$$

Signification : MG est l'exponentielle du biais calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du biais. Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut.

Concrètement, pour une même erreur relative, le biais est plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. MG sera aussi sensible à l'un qu'à l'autre.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : MG est une grandeur strictement positive. C'est un nombre sans dimension. Une valeur égale à 1 indique que les données d'observations et les données modélisées ont la même moyenne. Le modèle est donc en mesure de bien restituer la valeur moyenne du paramètre considéré. Toutefois les écarts peuvent être ponctuellement ou systématiquement très importants : il suffit que les écarts positifs compensent les écarts négatifs.

Une valeur supérieure 1 implique qu'en moyenne, le modèle sous-estime la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus faible que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur supérieure à la mesure.

Une valeur inférieure à 1 implique, qu'en moyenne, le modèle surestime globalement la mesure : la moyenne des données issues du modèle est plus forte que celle des données mesurées. Toutefois ponctuellement, le modèle peut donner une valeur inférieure à la mesure.

Type d'erreur : systématique

VG : GEOMETRIC MEAN VARIANCE

$$VG = \exp \left[\overline{(\ln C_o - \ln C_p)^2} \right]$$

Signification : VG est l'exponentielle du carré du RMSE calculé à partir des logarithmes népériens des valeurs d'observations et des valeurs modélisées. Il donne le même type d'information que la valeur du RMSE.

Toutefois les propriétés du logarithme font que ce paramètre est influencé par l'écart relatif entre les valeurs et non pas par l'écart brut. Concrètement, pour une même erreur relative, le RMSE est beaucoup plus sensible à un écart sur des valeurs fortes que sur des valeurs faibles car la même erreur relative conduira alors à un écart plus grand. VG sera aussi sensible à l'un qu'à l'autre.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : VG est une grandeur supérieure ou égale à 1. C'est un nombre sans dimension. Si elle est égale à 1, les valeurs du modèle sont toutes égales aux valeurs observées. Plus VG est grand, plus l'écart entre mesure et observation est grand. La VG ne donne toutefois pas d'indication sur la distribution de cette erreur. Une grande valeur de VG peut correspondre soit à un biais fort, soit à un écart type des erreurs fort, soit aux deux à la fois.

Type d'erreur : locale

FAC2 : FACTOR OF TWO

$$\text{FAC2} = \text{fraction of data that satisfy } 0.5 \leq \frac{C_p}{C_o} \leq 2.0$$

Signification : Le FAC2 représente la fraction des données simulées qui sont en accord avec les données mesurées à un facteur 2 près.

Valeur recherchée : 1

Interprétation des valeurs : FAC2 est une grandeur comprise entre 0 et 1. Il est sans dimension. Une valeur nulle indique qu'aucune des données modélisées ne se trouve dans l'intervalle cité plus haut. Une valeur égale à 1 implique que les inégalités citées plus haut sont vérifiées pour chacune des valeurs simulées. Elle ne garantit pas une adéquation parfaite entre mesure et observation.

Type d'erreur : totale

R : Coefficient de corrélation linéaire

$$R = \frac{(\overline{C_o - C_o})(\overline{C_p - C_p})}{\sigma_{C_p} \sigma_{C_o}}$$

Signification : Ce paramètre permet de qualifier l'intensité de la liaison linéaire existante entre observation et valeur modélisée. Autrement dit, il évalue s'il existe une fonction affine du type $x_i = a \cdot x_i + b$ (avec a et b, 2 constantes) permettant une bonne restitution des valeurs des observations. D'un point de vue graphique, il permet de savoir s'il est possible de tracer une droite constituant une bonne approximation du nuage de points représentant les couples "observations/valeurs modélisées".

Valeur recherchée : 1 ou -1 (une valeur proche de -1 dénote toutefois un comportement étrange du modèle mais démontre sa bonne capacité de prévision moyennant une correction simple. Ce genre de cas met souvent en évidence une erreur grossière et facilement corrigable au sein du modèle, ou dans le traitement des données).

Interprétation des valeurs : R est toujours compris entre -1 et 1. Si la valeur absolue de R est égale à 1, l'ensemble des valeurs observées peut être calculé à partir des valeurs modélisées par l'application d'une fonction affine (facilement calculable). Autrement dit, il est possible de construire une droite passant exactement par l'ensemble des points correspondant aux couples "observations/valeurs modélisée". Le signe de R donne alors le signe de la pente de cette droite ou encore le sens de variation de la fonction linéaire reliant observation et modèle : croissante si R est positif, décroissante si R est négatif.

Une valeur égale à 0, implique une absence de liaison linéaire entre les deux séries de données (modélisées et mesurées) c'est à dire qu'il n'existe pas de fonction affine qui, appliquée aux données modélisées, permette une amélioration de l'estimation des valeurs observées.

Les valeurs intermédiaires traduisent une plus ou moins grande importance de la liaison linéaire existante entre les valeurs observées et les valeurs modélisées. Le signe de R donne alors le comportement relatif global des données modélisées et observées : si R est positif, les valeurs modélisées tendent à croître lorsque les valeurs observées croissent. L'inverse se produit lorsque R est négatif.

Type d'erreur : locale

ANNEXE 5 : DISPOSITIF DE MESURE PAR ECHANTILLONNEURS PASSIFS ET RESULTATS

Dans le cadre du partenariat avec la CA du Grand Montauban, un dispositif temporaire de mesures en continu par échantillonneurs passifs a été déployé sur le territoire en plus du dispositif de mesure en continue pérenne.

Deux campagnes ont été effectuées : une hivernale (du 9 mars au 6 avril 2023) et une estivale (du 13 juillet au 10 août 2023). Au total, 45 sites ont fait l'objet d'une quantification des concentrations en NO₂.

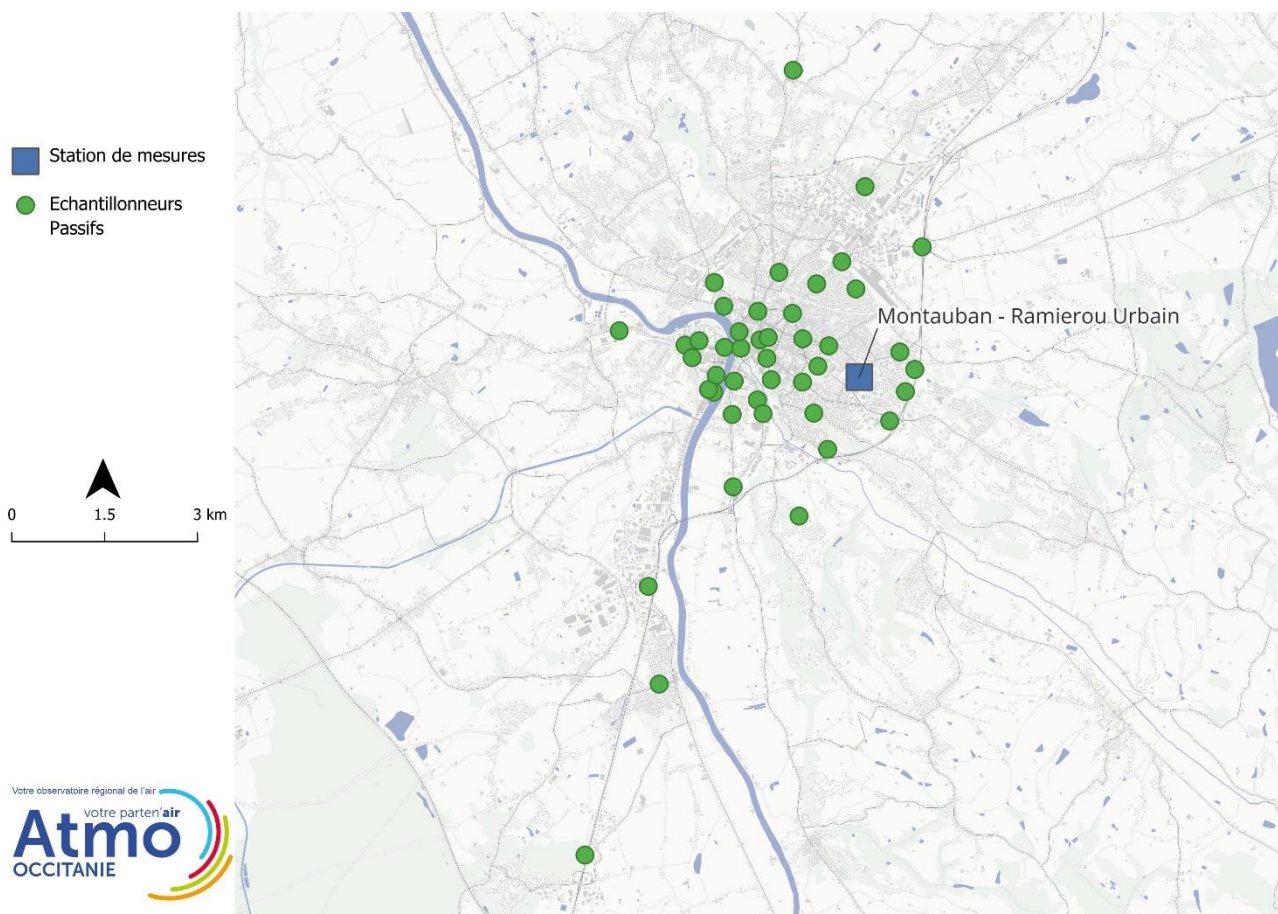
Polluant mesuré

Le polluant mesuré par les échantillonneurs passifs est le **dioxyde d'azote**, principal indicateur de l'impact du trafic routier.

Sites d'études

Deux types de sites sont étudiés :

- Les sites en proximité trafic, afin d'estimer les niveaux maximaux auxquels sont soumises les personnes à l'échelle de la rue,
- Les sites de fond urbain, représentatifs de la pollution respirée par la majorité de la population, à l'écart de toute influence directe de sources de pollution.



Méthodologie

Les mesures effectuées par mesures passives sont effectuées durant deux saisons distinctes afin d'évaluer au mieux les différences d'émissions propres à chaque période de l'année. Au total, le dispositif de mesure a été disposé 29 jours durant l'hiver et 29 jours durant l'été, représentant un total de 56 jours soit 15% de l'année.

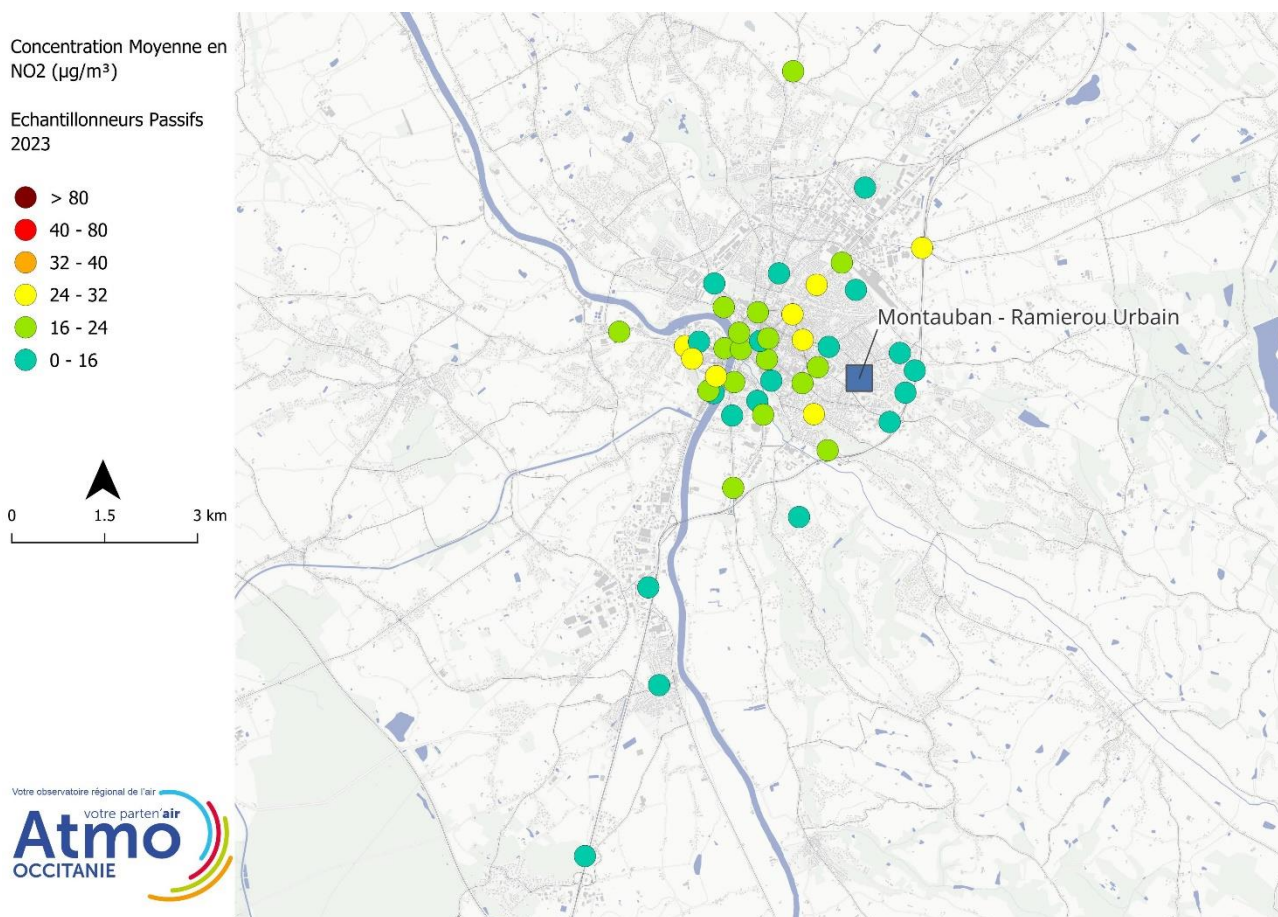
Une moyenne des résultats de chaque campagne (hiver et été) est effectuée pour tous les points de mesure. Néanmoins, cette moyenne n'est pas représentative des émissions totales sur une année de la zone d'étude. Un redressement statistique est alors effectué, tenant compte des deux phases de mesures et des dispositifs de mesure en continue pérenne à proximité (Montauban et plusieurs communes en Occitanie). Ainsi, le résultat *final* est une concentration annuelle moyenne. Ces résultats sont ensuite comparés pour validation avec les résultats des dispositifs de mesures à proximité et des campagnes de tubes passifs effectuées dans des conditions similaires.

Correspondance/adresses des échantillonneurs

N° échantillonneur passif	Adresse	Résultats ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Montauban_1	630 Chemin du Pastenc 82710 Bressols	12,8
Montauban_2	2 Avenue de la Gare 82710 Bressols	10,7
Montauban_3	91 Quai Adolphe Poulit 82000 Montauban	14,0
Montauban_4	Avenue Marceau Hamecher 82000 Montauban	18,4
Montauban_5	131 Impasse Beau de Rochas 82000 Montauban	13,8
Montauban_6	1 Rue Eugenie de Guerin 82000 Montauban	13,7
Montauban_7	468 Chemin des Dames Noires 82000 Montauban	8,6
Montauban_8	22 Impasse des Turilles 82000 Montauban	18,8
Montauban_9	580 Avenue d'Albi 82000 Montauban	20,6
Montauban_10	7 Avenue Aristide Briand 82000 Montauban	27,5
Montauban_11	9 Rue Pierre Fresnay 82000 Montauban	14,0
Montauban_12	540 Avenue Beausoleil 82000 Montauban	24,4
Montauban_13	4 Rue Jean Bouin 82000 Montauban	11,0
Montauban_14	14 Rue Emile Pereire 82000 Montauban	10,5
Montauban_15	72 Grand Rue Sapiac 82000 Montauban	17,7
Montauban_16	4 Avenue Chamier 82000 Montauban	31,6
Montauban_17	874 Avenue de Gasseras 82000 Montauban	22,1
Montauban_18	13 Rue Gamot 82000 Montauban	10,2

Montauban_19	2 Place Alfred Marty 82000 Montauban	21,2
Montauban_20	36bis Rue du Lycée 82000 Montauban	12,8
Montauban_21	15 Avenue Charles de Gaulle 82000 Montauban	17,5
Montauban_22	289 Rue des Chaumes 82000 Montauban	11,9
Montauban_23	60 Rue du Ramiérou 82000 Montauban	11,1
Montauban_24	1 Boulevard Edouard Herriot 82000 Montauban	16,7
Montauban_25	1 Place du Maréchal Foch 82000 Montauban	20,9
Montauban_26	2 Place Antoine Bourdelle 82000 Montauban	19,0
Montauban_27	13bis Rue d'Auriol 82000 Montauban	10,0
Montauban_28	8 Rue de la Mandoune 82000 Montauban	17,3
Montauban_29	10 Place Prax Paris 82000 Montauban	19,4
Montauban_30	1 Rue Jean-ursule Devals 82000 Montauban	24,8
Montauban_31	410 Boulevard Vincent Auriol 82000 Montauban	10,1
Montauban_32	895 Rue du Ramiérou 82000 Montauban	14,0
Montauban_33	8 Place de la Libération 82000 Montauban	24,1
Montauban_34	69 Rue Léon Cladel 82000 Montauban	22,4
Montauban_35	10 Avenue du 10e Dragon 82000 Montauban	19,1
Montauban_36	8c Rue du Docteur Labat 82000 Montauban	12,3
Montauban_37	2 Rue Denis Diderot 82000 Montauban	13,1
Montauban_38	366 Avenue Jean Moulin 82000 Montauban	27,5
Montauban_39	48 Rue Paulette Ferlin 82000 Montauban	10,6
Montauban_40	900b Avenue Jean Moulin 82000 Montauban	16,1
Montauban_41	988 Chemin des Blancous 82000 Montauban	24,6
Montauban_42	2140 Route de Molières 82000 Montauban	17,1
Montauban_43	1600 Rue Edouard Forestié 82000 Montauban	11,5
Montauban_44	21 Rue Roger Salengro 82000 Montauban	27,9
Montauban_45	860 Rue de l'Abbaye 82000 Montauban	22,6

Les niveaux de NO₂ mesurés à l'aide de capteurs passifs et adaptés sur l'année 2022 sont en dessous de la valeur limite de 40µg/m³. Les valeurs les plus élevées sont retrouvées sur les axes de circulation les plus fréquentés et où la congestion est la plus importante.



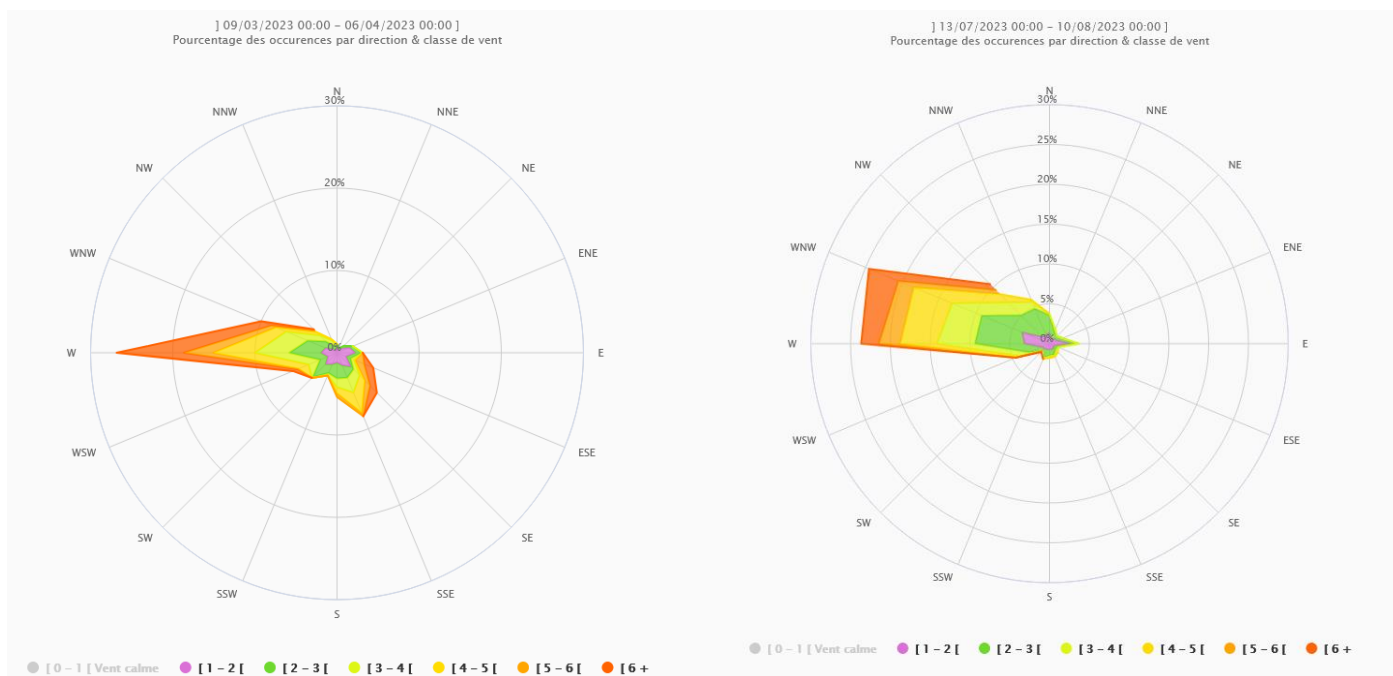
Globalement, les niveaux observés grâce à la cartographie sont cohérents avec les mesures effectuées sur le terrain par échantillonneurs passifs.

ANNEXE 6 : CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES LORS DE L'ÉTUDE

Les données exploitées dans cette annexe sont les données issues de la station Météo France à Montauban. Les conditions météorologiques lors de la période hivernale (du 9 mars au 6 avril 2023) et lors de la période estivale (du 13 juillet au 10 août 2023) sont détaillées ci-dessous.

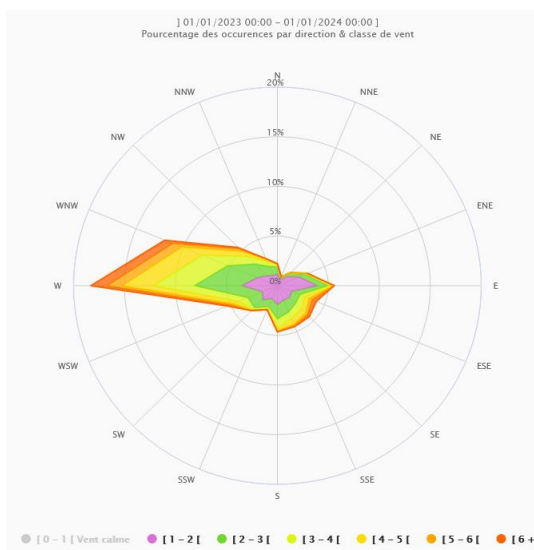
Rose des vents

Les roses des vents ci-dessous représente la direction de la provenance du vent sur la station météorologique.



Campagne hivernale 2023

Campagne estivale 2023



Année 2023

Lors de l'année 2023, deux composantes de vent peuvent être identifiées : un vent *principal*, provenant de l'Ouest-Nord-Ouest en direction de l'Est-Sud-Est, et un vent *secondaire* inverse, beaucoup moins fréquent, en direction du Ouest-Nord-Ouest

Au cours de la campagne hivernale sont retrouvées les deux composantes du vent moyen annuel de Montauban. Le régime de vent de la campagne estivale a cependant qu'une seule composante : celle du vent *principal* en direction de l'Est-Sud-Est.

Précipitations

Période	Cumul des précipitations (mm)	Nombre de jours de pluie
Campagne hivernale 2023	66,5	10
Normale de saison (1991-2020) - Mars	51	9
Campagne estivale 2023	8,9	5
Normale de saison (1991-2020) – Juillet/Août	51,6	6

L'été 2023 a été particulièrement sec, avec un cumul des précipitations cinq fois plus faible durant la campagne estivale par rapport aux normales de saisons sur les mêmes périodes. Les précipitations favorisent en général le lessivage des polluants atmosphériques présents dans la couche de surface, allant dans le sens d'une baisse des niveaux de concentrations mesurés. Ainsi, durant la campagne de mesure estivale, les conditions n'ont plutôt pas été favorables à ce lessivage par rapport à la normale.

La campagne hivernale 2023 se caractérise par des cumuls de précipitations légèrement plus élevés que la normale de saison.



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