



RAPPORT ANNUEL 2024 de la qualité de l'air en Belgique

Description du document

Titre

Rapport annuel 2024 de la qualité de l'air en Belgique

Auteurs

Ce rapport a été réalisé grâce à la contribution de l'ensemble des collaborateurs de CELINE : Frans Fierens, Charlotte Vanpoucke, Elke Trimpeneers, Roman Dumoulin, Philippe Maetz, Virginie Hutsemékers, Christophe Degrave, Marnik Rombaut.

Date

4 décembre 2025

Contact

info@irceline.be

www.irceline.be/fr

Remerciements

Ce rapport a été établi entre autres sur base des données de qualité de l'air et météorologiques collectées dans les réseaux de mesure des trois Régions. CELINE remercie tous les collaborateurs de la Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), de l'Institut Scientifique de Service Public (ISSeP), de l'Agence Wallonne de l'Air et du Climat (AWAC) et de Bruxelles Environnement (LB-BE).

Table des matières

1	Résumé	7
2	Introduction	11
3	Législation et recommandations sanitaires	13
3.1	Directive européenne	13
3.2	Organisation mondiale de la santé	13
4	Épisodes de pollution	15
4.1	Smog hivernal et printanier	15
4.2	Smog estival	16
5	Particules fines	18
5.1	PM ₁₀	19
5.1.1	Stations de mesure PM ₁₀	19
5.1.2	Concentrations moyennes annuelles de PM ₁₀	19
5.1.3	Concentrations moyennes journalières de PM ₁₀	20
5.2	PM _{2.5}	24
5.2.1	Stations de mesure PM _{2.5}	24
5.2.2	Concentrations moyennes annuelles de PM _{2.5}	24
5.2.3	Indicateur d'exposition moyenne	24
5.3	Black Carbon (BC)	27
5.3.1	Stations de mesures BC	27
5.3.2	Concentrations moyennes annuelles en BC	27
6	Oxydes d'azote	29
6.1	Stations de mesure NO ₂	29
6.2	Concentrations moyennes annuelles de NO ₂	29
6.3	Valeurs horaires de NO ₂	31
7	Ozone	35
7.1	Stations de mesure de l'ozone	35
7.2	Ozone et l'impact sur la santé	35
7.2.1	NET60	35
7.2.2	AOT60	36
7.3	Ozone et la végétation	37
7.3.1	AOT40 végétation	38
7.3.2	AOT40 forêts	38
7.4	Moyenne annuelle d'ozone	39

7.5	Évolution de la tendance pour les classes de concentrations d'O ₃	40
8	Conclusions	46
9	Annexe A : Stations de mesure	48
10	Annexe B : Relevés annuels	51
11	Annexe C : Interprétation des diagrammes en boîte	55
12	Annexe D : Cartes d'incertitudes	56

Glossaire

AOT40 forêts

ou « Accumulated Ozone Exposure above a Threshold of 40 ppb ($= 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ». Total des différences entre la moyenne horaire d'ozone supérieure à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et le seuil de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour toutes les valeurs horaires entre 08h00 et 20h00 CET, au cours des mois d'avril à septembre. Il s'agit d'un indicateur de protection des forêts.

AOT40 végétation

ou « Accumulated Ozone Exposure above a Threshold of 40 ppb ($= 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ». Total des différences entre la moyenne horaire d'ozone supérieure à $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et le seuil de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et ce pour toutes les valeurs horaires comprises entre 08h00 et 20h00 CET au cours des mois de mai, juin et juillet (période de croissance). Il s'agit d'un indicateur de protection des plantes et de la végétation (semi-)naturelle.

AOT60

ou « Accumulated Ozone Exposure above a Threshold of 60 ppb ($= 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ». Total annuel des différences entre la concentration d'ozone journalière maximale en moyenne (glissante) sur 8 heures supérieure à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et le seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

BC

Black Carbon. Analogue à la suie. Ensemble de particules fines, formées de carbone élémentaire, dont la concentration est mesurée par des méthodes optiques, et émises principalement par les processus de combustion (trafic automobile et en particulier diesel, combustion de biomasse...)

CET

L'heure normale d'Europe centrale. Le fuseau horaire en avance d'une heure par rapport au temps universel coordonné.

COV

Composés organiques volatils. Mélange de substances gazeuses principalement composées de carbone et d'hydrogène. Il s'agit de précurseurs à la formation d'ozone.

IEM

Indicateur d'exposition moyenne. Indicateur national égal à la moyenne sur trois ans des concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ mesurées dans certaines stations mesurant la pollution de fond urbaine.

Inversion de température

Phénomène d'élévation de la température avec l'altitude. En particulier, une couche d'air froid au sol peut être chapeautée par une couche d'air plus chaud, ce qui empêche les polluants de s'élever et entrave donc la dispersion verticale.

Jour d'ozone

Jour où la valeur maximale des concentrations moyennes horaires d'ozone dépasse $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans au moins une station de mesure en Belgique.

NET60

ou « Number of Exceedances above a Threshold of 60 ppb ($= 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) » : Nombre de jours pendant lesquels la concentration d'ozone journalière maximale en moyenne (glissante) sur 8 heures est supérieure à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

NO_x

Oxydes d'azote, c'est-à-dire le mélange des composés gazeux de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO_2).

O_3

Ozone. Gaz très réactif formé dans la troposphère par l'action du rayonnement ultraviolet (UV) sur certains composés présents dans l'air –les polluants « précurseurs ». Ce composé est principalement formé pendant les journées chaudes et ensoleillées d'été.

OLT

Objectif à long terme.

OMS

Organisation mondiale de la santé.

OMT

Objectif à moyen terme.

PM₁₀

ou « Particulate Matter ». Il s'agit des particules fines dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm.

PM_{2.5}

ou « Particulate Matter ». Il s'agit des particules fines dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 µm.

RIO

Méthode d'interpolation utilisée dans ce rapport afin de cartographier les données de qualité de l'air des réseaux de mesure.

Smog

Pollution atmosphérique (historiquement, contraction de « smoke » et « fog »). De manière très résumée, le smog est usuellement causé par les particules fines en hiver (ou au printemps) et par l'ozone en été.

SO₂

Dioxyde de soufre. Gaz irritant à forte concentration et acidifiant.

UNECE

United Nations Economic Commission for Europe.

1 Résumé

La qualité de l'air en Belgique s'est progressivement améliorée au cours des trois dernières décennies. Malgré cette amélioration constante, l'ensemble de la population demeure exposé à une pollution supérieure à une ou plusieurs valeurs recommandées par l'organisation mondiale de la santé (OMS) en 2024.

Les concentrations moyennes annuelles de PM_{10} , $PM_{2.5}$ et NO_2 diminuent progressivement. Une légère tendance à la hausse est observée uniquement pour l'ozone. La qualité de l'air en 2024 était meilleure que la moyenne des dix dernières années et suit donc la tendance à long terme en ce qui concerne les particules fines et les oxydes d'azote. Il faut toutefois relever que la tendance a été momentanément perturbée en 2020 par la pandémie de COVID-19 et les mesures de confinement liées.

Le tableau 1 ci-dessous présente les différents indicateurs de la qualité de l'air pour la Belgique en 2024 et les compare, à l'aide d'un code couleur, aux moyennes des 10 années précédentes : 2014–2023. Ces chiffres sont basés sur des calculs effectués à l'aide de la technique d'interpolation RIO, avec une résolution spatiale de $4 \times 4 \text{ km}^2$. Les chiffres sont donc représentatifs de zones de 4 km sur 4 km, ce qui signifie que les concentrations (ou le nombre de dépassements) peuvent être localement plus élevées ou plus faibles. Pour les polluants fortement influencés par les émissions locales, comme le NO_2 provenant des émissions du trafic, l'évaluation locale peut différer sensiblement de celle effectuée au niveau de $4 \times 4 \text{ km}^2$.

Pour les particules fines et le dioxyde d'azote tous les indicateurs étaient nettement inférieurs à la moyenne des 10 années précédentes. Les indicateurs à long terme (moyennes annuelles) et à court terme (moyennes horaires) étaient significativement plus bas pour le minimum, la moyenne et le maximum des zones de $4 \times 4 \text{ km}^2$.

Pour ces polluants, PM_{10} , $PM_{2.5}$ et NO_2 , aucun dépassement des valeurs limites européennes n'est observé au niveau des concentrations calculées par cellule de $4 \times 4 \text{ km}^2$. Cependant, les valeurs recommandées par l'OMS sont dépassées dans de larges zones de Belgique.

Pour l'ozone, certains indicateurs sont comparables ou nettement en hausse par rapport à la moyenne décennale. La concentration moyenne annuelle d'ozone (mesure des niveaux de fond en Belgique) est en légère tendance à la hausse au cours des quinze dernières années. Les différents indicateurs d'ozone relatifs au dépassement d'un seuil défini montrent une tendance erratique, liée aux conditions météorologiques estivales. 2024 a globalement été une année favorable pour l'ozone, les objectifs à moyen terme en matière d'ozone pour la santé et la protection de la végétation sont respectés. Les objectifs d'exposition à l'ozone à long terme sont toujours dépassés.

Le tableau 2 donne les pourcentages de la population potentiellement exposée à des concentrations supérieures aux valeurs limites de l'UE, d'une part, et aux valeurs recommandées par l'OMS, d'autre part.

Sur la base de ces calculs, on peut conclure que personne en Belgique n'a été exposé à des dépassements des valeurs limites ou cibles européennes pour les particules ou le dioxyde d'azote. L'exposition de la population est estimée sur la base des calculs des concentrations de qualité de l'air par l'interpolation RIO pour une grille de $4 \times 4 \text{ km}^2$ et du nombre d'habitants correspondants dans cette maille. Cette résolution spatiale relativement faible peut entraîner une sous-estimation pour les polluants tels que le NO_2 et le BC.

Pour l'ozone, l'objectif à long terme d'aucun dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne sur 8 heures n'est atteint nulle part et l'ensemble de la population est exposé à des dépassements. L'objectif à moyen terme d'un maximum de 25 jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne sur 8 heures, en moyenne sur 3 ans, est respecté sur l'ensemble de la Belgique.

Si l'on compare les indicateurs aux valeurs recommandées par l'OMS, plutôt qu'aux valeurs limites européennes, la situation est moins favorable : 24,4 % de la population belge vit dans une zone où la concentration moyenne annuelle de PM_{10} dépasse la valeur recommandée de l'OMS de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 87,0 % de la population belge vit dans une zone où la concentration moyenne annuelle de $PM_{2.5}$ dépasse la valeur recommandée par l'OMS de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et 49,1 % dans une zone où la concentration moyenne annuelle de NO_2 dépasse la valeur recommandée par l'OMS de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour l'ozone, l'ensemble de la population belge est exposée à des dépassements du seuil recommandé, c'est-à-dire aucun dépassement de la valeur de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne sur 8h.

En conclusion, en 2024, les concentrations de $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} et NO_2 ont continué à baisser alors que les concentrations d’ozone ont stagné ou augmenté. En moyenne, par maille de $4 \times 4 \text{ km}^2$, les concentrations de particules et de dioxyde d’azote demeurent inférieures aux valeurs limites ou cibles européennes. Pour l’ozone, les objectifs à long terme ne sont pas atteints. La majorité de la population reste exposée à des concentrations supérieures aux valeurs recommandées par l’OMS pour les PM_{10} , les $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 et l’ozone.

TAB. 1 : Indicateurs de la qualité de l'air en Belgique, 2024

Indicateur	min.	moy.	max.	Norme européenne	Valeur indicative OMS (2021)
PM₁₀					
Moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5	11	18	40	15
Nombre de jours $>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	2	Max. 35 jours	
Nombre de jours $>45 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0	3		Max. 3 jours
PM_{2.5}					
Moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3	6	10	25	5
Ozone					
Nombre de jours $>$ seuil d'in- formation $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$		2			
Nombre de jours $>$ seuil d'alerte $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$		0			
Nombre de jours avec max 8h $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1	6	15	OMT : 25 jours, moyenne sur 3 ans, OLT : 0 jours	0 jour avec max 8h $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Nombre de jours avec max 8h $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne 2022–2024)	7	12	20	OMT : 25 jours, moyenne sur 3 ans, OLT : 0 jours	0 jour avec max 8h $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
AOT60 ($(\mu\text{g}/\text{m}^3).\text{h}$)	72	559	1680	5800***	
AOT40 végétation ($(\mu\text{g}/\text{m}^3).\text{h}$)	4083	7110*	11363	OMT : 18000 moyenne sur 5 ans, OLT : 6000	
AOT40 végétation ($(\mu\text{g}/\text{m}^3).\text{h}$) (moyenne 2020–2024)	4979	9388*	13593	OMT : 18000 moyenne sur 5 ans, OLT : 6000	
AOT40 forêts ($(\mu\text{g}/\text{m}^3).\text{h}$)	4960	10057**	18141	Niveau critique : 10000***, niveau de référence : 20000***	
NO₂					
Moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2	7	24	40	10
19 ^{ème} moyenne horaire la plus élevée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14	30	69	200	Moyenne horaire la plus élevée : 200
Dépassement de la norme européenne.					
* Moyenne pondérée par la surface de végétation.					
** Moyenne pondérée par la surface des forêts.					
*** Pas dans la directive 2008/50/CE.					
	Valeur significativ. inférieure à la moyenne sur les 10 années précédentes				
	Valeur comparable à la moyenne sur les 10 années précédentes				
	Valeur significativ. supérieure à la moyenne sur les 10 années précédentes				

TAB. 2 : Pourcentage de la population ou de la surface de végétation potentiellement exposée à des valeurs supérieures à la norme européenne ou aux valeurs indicatives de l'OMS en 2024, calculé avec RIO.

Indicateur	Norme européenne	% population exposée ou % de la surface avec dépassement de la norme pour la végétation	Valeur indicative OMS (2021)	Population exposée à un dépassement de la valeur OMS
PM₁₀				
Moyenne annuelle	40 µg/m ³	0 %	15 µg/m ³	24,4 %
Nombre de jours >50 µg/m ³	Max. 35 jours	0 %	Max. 3 jours	0 %
Nombre de jours >45 µg/m ³				
PM_{2.5}				
Moyenne annuelle	25 µg/m ³	0 %	5 µg/m ³	87,0 %
Ozone				
Nombre de jours avec max 8h >120 µg/m ³	LTD : 0 jours	100,0 %	Max. 8h journalière >100 µg/m ³	100,0 %
Nombre de jours avec max 8h >120 µg/m ³ (moyenne 2022–2024)	OMT : 25 jours moyenne sur 3 ans	0 %		
AOT60	5800* (µg/m ³).h	0 %		
AOT40 végétation	OLT : 6000 (µg/m ³).h	69,9 %		
AOT40 végétation (moyenne 2020–2024)	OMT : 18000 (µg/m ³).h moyenne sur 5 ans	0 %		
AOT40 forêts	Niveau critique : 10000* (µg/m ³).h	32,0 %		
AOT40 forêts	Niveau de référence : 20000* (µg/m ³).h	0 %		
NO₂				
Moyenne annuelle	40 µg/m ³	0 %	10 µg/m ³	49,1 %
Moyenne horaire >200 µg/m ³	Max. 18 heures	0 %	0 heure	0 %
* Pas dans la directive 2008/50/CE				
	0 %			
	>0 % en ≤ 50%			
	>50 %			

2 Introduction

Ce rapport donne un aperçu de la qualité de l'air en 2024 en Belgique. La qualité de l'air est déterminée par la combinaison de divers polluants mesurés dans les réseaux de surveillance des trois régions.

ENCADRÉ 1 : Actualisation des échelles de concentration

L'OMS a publié en septembre 2021 une mise à jour des valeurs recommandées pour plusieurs polluants atmosphériques [14] (voir tableau 4). Sur base des études scientifiques récentes, l'OMS a conclu que la pollution atmosphérique a un impact sur la santé à des concentrations beaucoup plus faibles. Depuis le rapport annuel 2022, les échelles et couleurs ont été logiquement adaptées pour correspondre aux valeurs recommandées par l'OMS. Par rapport aux rapports annuels de 2021 et antérieurs, la qualité de l'air est donc évaluée plus sévèrement, mais cela reflète mieux l'impact sur la santé de l'air que nous respirons. Une explication accompagnant les échelles a été publiée sur irceline.be.

En Flandre, les réseaux de mesure sont gérés par la [Vlaamse Milieumaatschappij \(VMM\)](https://vlaamse-milieumaatschappij.be), en Wallonie par l'[Institut Scientifique de Service Public \(ISSeP\)](https://www.issep.be) et l'[Agence Wallonne de l'Air et du Climat \(AWAC\)](https://www.agence-wallonne.be) et à Bruxelles par [Bruxelles Environnement](https://www.bruxelles-environnement.be). Les valeurs mesurées sont collectées par CELINE et stockées dans la base de données interrégionale.

Ce rapport décrit l'état de la qualité de l'air en Belgique en 2024 et l'évolution de celle-ci au cours des dernières années. Les polluants PM₁₀, PM_{2,5}, BC, O₃ et NO₂ sont abordés. Afin de déterminer les concentrations de ces polluants dans les endroits où aucune mesure n'est effectuée, la technique d'interpolation RIO est utilisée.

ENCADRÉ 2 : méthode d'interpolation RIO

Ce rapport est basé sur une technique d'interpolation spatiale des mesures de qualité de l'air appelée RIO [6][8]. Cette technique permet de déterminer les concentrations et l'exposition de la population dans des endroits où aucune mesure n'est effectuée. Les techniques d'interpolation conventionnelles exigent que chaque emplacement de mesure soit représentatif de la même zone spatiale. Dans la pratique, cependant, ce n'est pas le cas pour la pollution atmosphérique. Les concentrations mesurées à proximité d'une source de pollution ne sont représentatives que d'une zone limitée autour de la source tandis que les concentrations mesurées dans une zone rurale seront généralement représentatives d'une zone plus large. La méthode RIO a été développée pour pallier à ce problème.

La résolution spatiale de la technique d'interpolation RIO est de 4x4 km², il est donc possible de calculer la qualité de l'air pour chaque cellule de grille de 4x4 km² en Belgique, en interpolant les mesures des stations télémétriques disponibles.

Cette technique permet également de calculer l'incertitude par cellule de la grille de 4x4 km² pour chaque polluant. Les cartes d'incertitude ainsi qu'une explication plus détaillée sont disponibles en l'annexe D.

La technique d'interpolation RIO est utilisée pour déterminer les concentrations sur l'ensemble du territoire, ce rapport n'analyse pas les mesures enregistrées aux stations de mesure télémétriques. Pour cela, nous renvoyons le lecteur aux publications annuelles régionales sur la qualité de l'air et au rapportage annuel de la Belgique dans le cadre de la directive européenne 2008/50/EU. Dans le présent rapport, la version v2025 de RIO a été utilisée. Pour les résultats d'autres polluants, tels que le NO, le CO et les métaux lourds, nous renvoyons le lecteur également aux sites web et rapports régionaux.

Les rapports et les publications de la Flandre, la Wallonie et Bruxelles sont disponibles sur les sites web régionaux : www.vmm.be¹, www.wallonair.be² et www.environnement.brussels³.

¹[Hoe evolueert de luchtkwaliteit in Vlaanderen](https://www.vmm.be)

²[Rapports annuels des réseaux de surveillance de la qualité de l'air en Wallonie](https://www.wallonair.be)

³[Rapport annuel 2024 de la qualité de l'air en région de Bruxelles-Capitale](https://www.environnement.brussels)

ENCADRÉ 3 : update RIO

En 2025, l'intégralité du code du modèle a été traduite dans un langage de programmation plus moderne. Cela permet de tester, de contrôler et de calculer efficacement le modèle dans un environnement plus pratique. Bien que le fonctionnement de base du modèle soit resté le même, certains paramètres et certaines données d'entrée ont été optimisés à la suite de cette mise à jour. Afin de garantir une série chronologique cohérente, toutes les années historiques ont été recalculées. C'est pourquoi certains détails de ce rapport diffèrent des rapports annuels précédents.

L'exposition de la population à un polluant peut être calculée en corrélant la concentration de ce polluant dans une maille RIO avec la densité de population dans cette même maille (voir figure 1). L'exposition de la population présentée dans ce rapport est une exposition « statique », calculée sur base des chiffres de population dans chaque cellule de la grille RIO. Cela signifie que l'exposition est estimée sur base des données des lieux de résidence de la population et que l'on ne tient donc pas compte des déplacements. Bien que la résolution spatiale de l'interpolation RIO soit relativement élevée, les résultats génèrent inévitablement une incertitude concernant la population réellement exposée. Dans une cellule de $4 \times 4 \text{ km}^2$, on suppose que toutes les personnes qui y résident sont exposées à une même concentration homogène. Pour des cartographies à plus haute résolution de la pollution, nous renvoyons le lecteur vers les cartes ATMO-Street ou RIO-IFDM sur le site web d'IRCEL – CELINE : [NO₂](#), [PM₁₀](#), [PM_{2.5}](#), [BC](#) et [O₃](#).

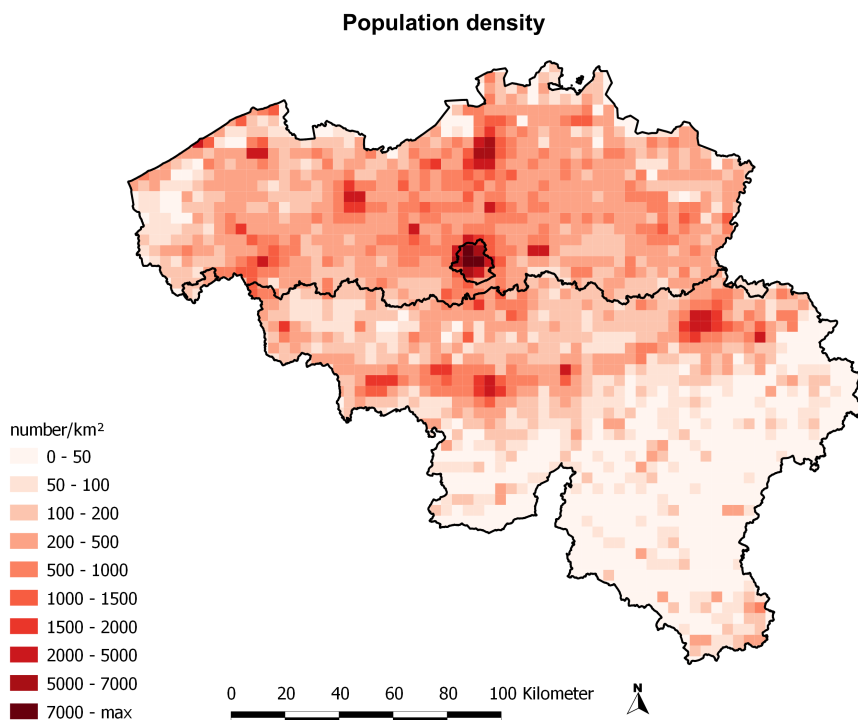


FIG. 1 : Densité de la population par cellule de la grille RIO (source : chiffres de la population, Statbel)

Les calculs des différents indicateurs et les analyses des tendances ont été effectués à l'aide du logiciel « OpenAir » [5], développé pour le logiciel de statistique R [10]. Les cartes de ce rapport annuel ont été créées avec le logiciel de système d'information géographique QGIS [9]. La mise en page du document a été réalisée avec \LaTeX .

3 Législation et recommandations sanitaires

3.1 Directive européenne

La directive 2008/50/CE du parlement européen et du conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air et un air pur pour l'Europe constitue la principale base juridique des normes de qualité de l'air [3]. Cette directive impose des obligations d'évaluation de la qualité de l'air en Europe, de lutte contre la pollution et les nuisances, de collecte et diffusion des informations précises, et de préserver une bonne qualité de l'air et l'améliorer dans d'autres cas.

À cette fin, la directive contient des **valeurs limites**, des **valeurs cibles**, des **seuils d'information** et des **seuils d'alerte**. Les valeurs limites et cibles sont indiquées dans les tableaux 1 et 2, les seuils d'information et d'alerte dans le tableau 3.

- Les *valeurs limites* sont des niveaux qui doivent être atteints dans un délai donné et, une fois atteints, ne doivent pas être dépassés.
- Les *valeurs cibles* sont des niveaux à atteindre « autant que possible » dans un délai prédéfini.
- Les *seuils d'information* sont des niveaux au-dessus desquels une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de groupes particulièrement vulnérables de la population et pour lesquels une information immédiate et adéquate est nécessaire.
- Les *seuils d'alerte* sont des niveaux au-dessus desquels une brève exposition présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population et à partir desquels des mesures immédiates doivent être prises par les États membres.

Une révision des normes de qualité de l'air a été publiée le 20 novembre 2024 avec la directive 2024/2881 [4], elle doit être traduite dans la législation belge pour le 12 décembre 2026 et les nouvelles normes doivent être respectées au plus tard le 1er janvier 2030. Lorsque cela est pertinent, les normes futures pour 2030 sont ajoutées aux figures présentées dans ce rapport.

TAB. 3 : Liste des seuils d'information et d'alerte horaires moyens selon la directive 2008/50/CE.

Polluant	Seuil d'information	Seuil d'alerte
SO ₂		500 µg/m ³
NO ₂		400 µg/m ³
O ₃	180 µg/m ³	240 µg/m ³

3.2 Organisation mondiale de la santé

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a établi son propre ensemble de **valeurs indicatives** de la qualité de l'air. Les valeurs indicatives de l'OMS quantifient les concentrations pour lesquelles il existe un risque significatif pour la santé publique. En septembre 2021, ces valeurs ont été actualisées sur la base de résultats scientifiques plus récents et ont été considérablement renforcées [14]. Dans ce rapport, ces valeurs indicatives sont ajoutées aux figures et tableaux le cas échéant, voir également l'ENCADRÉ 1. Le tableau 4 donne les valeurs indicatives actuelles.

Ces valeurs de l'OMS sont plus strictes que les valeurs limites et les valeurs cibles de l'UE. Les normes de l'UE prennent en compte la santé publique ainsi que l'impact économique pour atteindre ces objectifs.

TAB. 4 : Liste des valeurs indicatives de la qualité de l'air de l'Organisation mondiale de santé

Polluant	Période de calcul de la moyenne	Nombre max. de dépassement autorisés	Valeur(2021)
PM ₁₀	1 jour	3	45 µg/m ³
	1 année		15 µg/m ³
PM _{2.5}	1 jour	3	15 µg/m ³
	1 année		5 µg/m ³
NO ₂	1 heure	0	200 µg/m ³
	1 jour	3	25 µg/m ³
	1 année		10 µg/m ³
O ₃	8 heures *	0	100 µg/m ³
	6 mois **		60 µg/m ³
SO ₂	10 minutes	0	500 µg/m ³
	1 jour		40 µg/m ³

* Maximum journalier de la moyenne sur huit heures

** Moyenne de la concentration moyenne en O₃ maximale sur 8 heures et six mois consécutifs, avec la plus forte concentration en O₃ des moyennes glissantes sur six mois.

4 Épisodes de pollution

Les concentrations de polluants atmosphériques dans l'air ambiant varient au cours du temps en raison de plusieurs facteurs. Tout d'abord, les concentrations dépendent de la pollution émise par les sources anthropiques ou naturelles. Ensuite, les polluants peuvent être formés ou détruits par différentes réactions physico-chimiques dans l'atmosphère, peuvent retomber au sol par les processus de dépôts sec et humide ou peuvent être transportés sur de grandes distances par le vent. Si les polluants atmosphériques proviennent de régions transfrontalières, on parle de phénomène d'importation de polluants. Les paramètres météorologiques, tels que la pression, la température, la vitesse et la direction du vent, ou les précipitations, constituent des facteurs très importants qui influencent les niveaux de concentration des polluants dans l'air.

Lorsque les concentrations de polluants atmosphériques dans l'air sont trop élevées, un « smog » se forme. On distingue les smogs hivernal, printanier et estival.

Un accroissement de la pollution de l'air par les particules fines et le dioxyde d'azote pendant l'hiver (**smog hivernal**) se produit généralement dans des conditions météorologiques stables, avec peu de vent et en présence d'une inversion de température. Les conditions de dispersion de la pollution atmosphérique sont alors défavorables. Une inversion de température à basse altitude entraîne le fait que la pollution atmosphérique (causée par les émissions et/ou les importations) reste au sol, en quelque sorte « piégée » sous la couche d'air plus chaude située au-dessus. Si une telle situation perdure pendant plusieurs jours, la pollution atmosphérique peut s'accumuler et les concentrations de polluants atmosphériques augmentent progressivement.

Des concentrations accrues de particules fines peuvent également être la conséquence d'une soudaine augmentation de particules fines dites secondaires. Au contraire des particules primaires, directement émises dans l'atmosphère, les particules secondaires sont formées à la suite de réactions physico-chimiques complexes au sein de celle-ci. Des analyses chimiques des particules fines révèlent d'ailleurs que les sels secondaires inorganiques (ammonium, nitrate, sulfate par exemple) contribuent pour 30 à 40 % à la masse totale des particules fines [12][13]. Un composé-clé dans la formation de particules secondaires est l'ammoniac. De fortes concentrations de particules secondaires apparaissent ainsi souvent au printemps (**smog printanier**), lors des épandages de fertilisants agricoles qui sont à l'origine d'une augmentation des émissions d'ammoniac.

Les épisodes d'ozone (**smog estival**) se produisent principalement les jours d'été chauds, ensoleillés ($> 25^{\circ}\text{C}$) et avec peu de vent. De telles conditions météorologiques sont de nature à favoriser la formation photochimique d'ozone.

Un épisode de smog n'est cependant jamais exclusivement attribué à une seule cause. De fortes concentrations dans l'air sont toujours la conséquence d'une combinaison des facteurs décrits ci-dessus (météo, importation, formation secondaire), même si la pondération relative de ces différentes causes varie en effet d'une situation à l'autre.

4.1 Smog hivernal et printanier

Depuis 2006, il existe un seuil d'*alerte* qui est activé lorsqu'il est prévu que les concentrations journalières moyennes en PM_{10} dépasseront $70\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant deux jours consécutifs. À partir du 01/11/2016, il a été complété par un seuil d'*information*. Le seuil d'information est activé lorsque la moyenne glissante 24h en PM_{10} est supérieure à $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne et qu'elle devrait rester supérieure à ce seuil pendant au moins les 24h suivantes. En 2019, un nouveau polluant a été introduit, les $\text{PM}_{2,5}$ avec des seuils d'information et d'alerte de respectivement 35 et $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En 2024, le *phase d'information* n'a pas été activé. C'est la première année sans activation depuis son adoption en 2016. Logiquement, le *phase d'alerte* n'a pas été activé non plus.

4.2 Smog estival

L'été 2024 a été particulièrement pluvieux, avec des périodes de chaleur à chaque fois à la fin du mois de juin et du mois de juillet, le mois d'août a été chaud mais avec de très fortes précipitations, et le mois de septembre a été humide et maussade. Au total, le seuil d'information d'ozone de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a été dépassé que deux jours : le 26 juin et le 30 juillet. Le seuil d'alerte européen de $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a pas été atteint en 2024.

Le 26 juin, le seuil d'information a été dépassé dans deux stations de la région de Gand, la valeur horaire maximale était de $211 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le 30 juillet, le seuil d'information a été dépassé dans sept stations en Flandre et la région de Bruxelles. La valeur horaire maximale était de $224 \mu\text{g}/\text{m}^3$, voir figure 2. En Wallonie, le seuil d'information n'a pas été dépassé.

Le nombre de jours d'ozone en 2024 (2) est inférieur à celui de 2023 (4) et de 2022 (7), mais supérieur à celui de 2021, où aucun jour d'ozone n'avait été enregistré pour la première fois. La figure 3 montre l'évolution du nombre de jours d'ozone depuis 1999, la tendance à long terme montre une diminution du nombre de jours d'ozone.

Daily highest 1-hourly Ozone concentrations on: Tuesday 30/07/2024

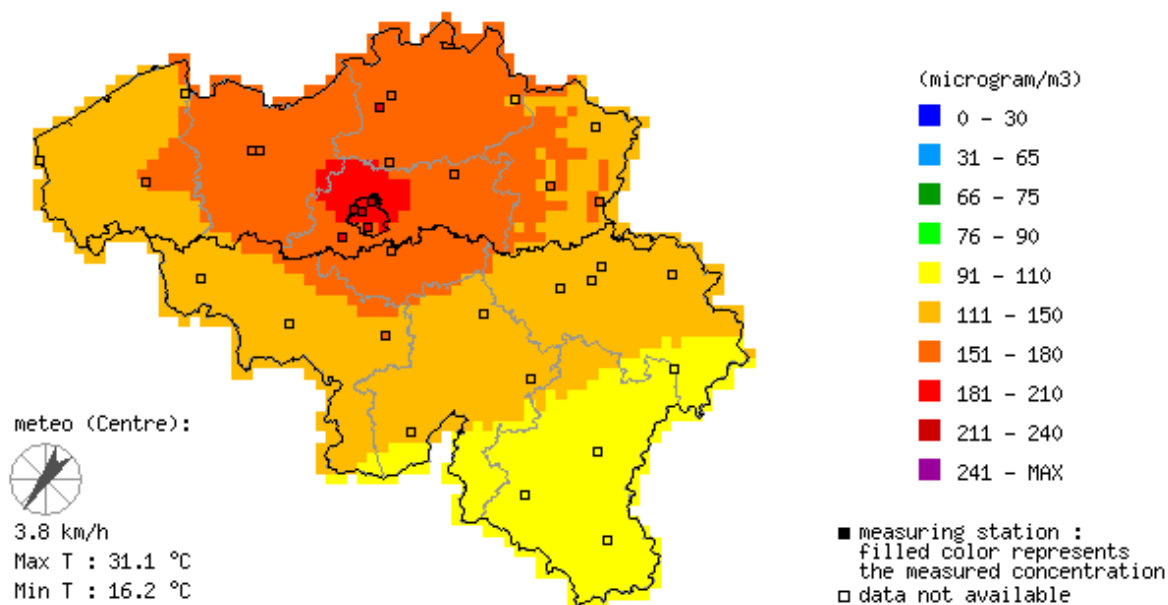


FIG. 2 : Concentrations d'ozone horaires maximales du mardi 30 juillet 2024.

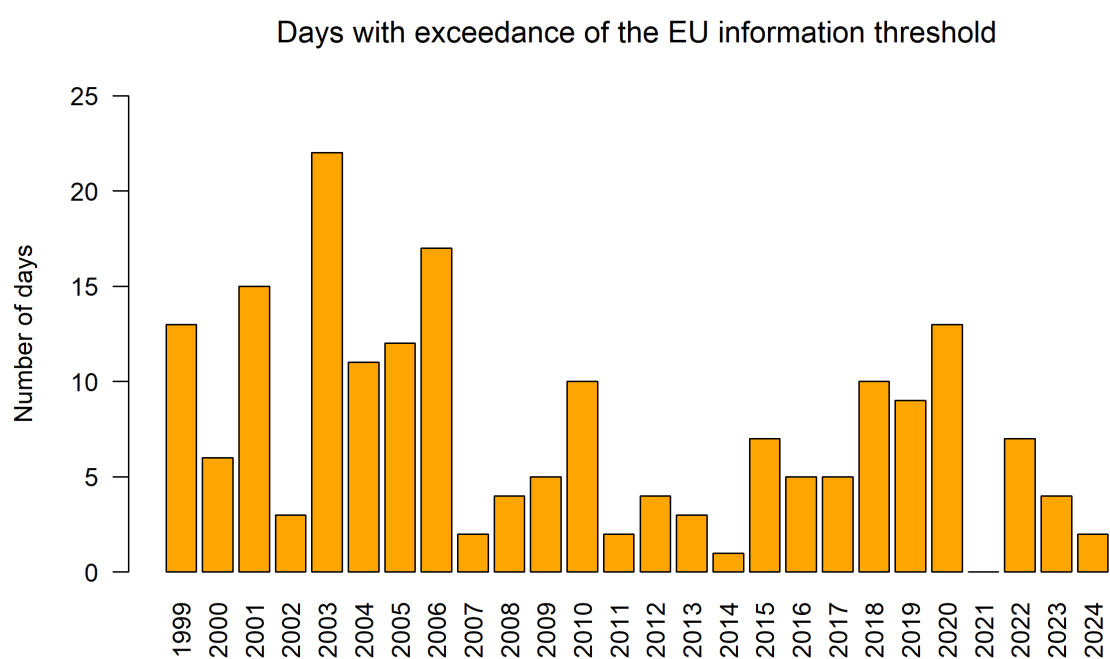


FIG. 3 : Évolution du nombre de jours d'ozone depuis 1999.

5 Particules fines

Les particules fines regroupent toutes les particules solides et liquides en suspension dans l'atmosphère. Nous distinguons dans ce rapport trois catégories : PM_{10} , $PM_{2.5}$ et BC.

PM signifie « particulate matter » ou « matières particulaires », et l'indice définit la taille des particules. La fraction PM_{10} est constituée des particules ayant les mêmes propriétés qu'une particule sphérique d'un diamètre de 10 micromètre (μm) ou moins. Les $PM_{2.5}$ désignent la fraction de particules qui ont le même comportement dans l'atmosphère qu'une particule sphérique ayant un diamètre de 2,5 micromètres ou moins. Il découle de cette définition que $PM_{2.5}$ est un sous-ensemble de PM_{10} , toute particule de la catégorie $PM_{2.5}$ fait partie de la catégorie PM_{10} .

Une troisième catégorie, le BC ou « black carbon » ou encore « carbone noir », fait à son tour partie des $PM_{2.5}$. Le BC se forme généralement lors d'une combustion incomplète et est le composant principal de la suie.

Les particules peuvent être émises dans l'atmosphère par des sources naturelles, comme les particules de sel marin ou la poussière du sol emportée par le vent, ou par des sources anthropiques, comme le transport, l'industrie, l'agriculture et le chauffage des bâtiments. Les particules peuvent être émises directement par ces sources (particules primaires) ou se former dans l'atmosphère suite à la transformation physico-chimique de composés gazeux en particules (particules secondaires). Les particules fines se dispersent sur de longues distances, elles sont donc aisément exportées vers ou importées des pays voisins.

Les principaux effets sanitaires de la pollution atmosphérique sont imputables aux particules fines. Selon l'OMS, il n'existe pas de seuil de concentration pour les particules fines en dessous duquel on ne constate aucun impact sur la santé.

5.1 PM₁₀

5.1.1 Stations de mesure PM₁₀

En 2024, les concentrations de PM₁₀ ont été mesurées dans 88 stations, soit le nombre le plus élevé depuis 1997. L'augmentation du nombre de stations de mesure, comme le montre la figure 4, entraîne une diminution de l'incertitude des valeurs interpolées discutées dans ce chapitre.

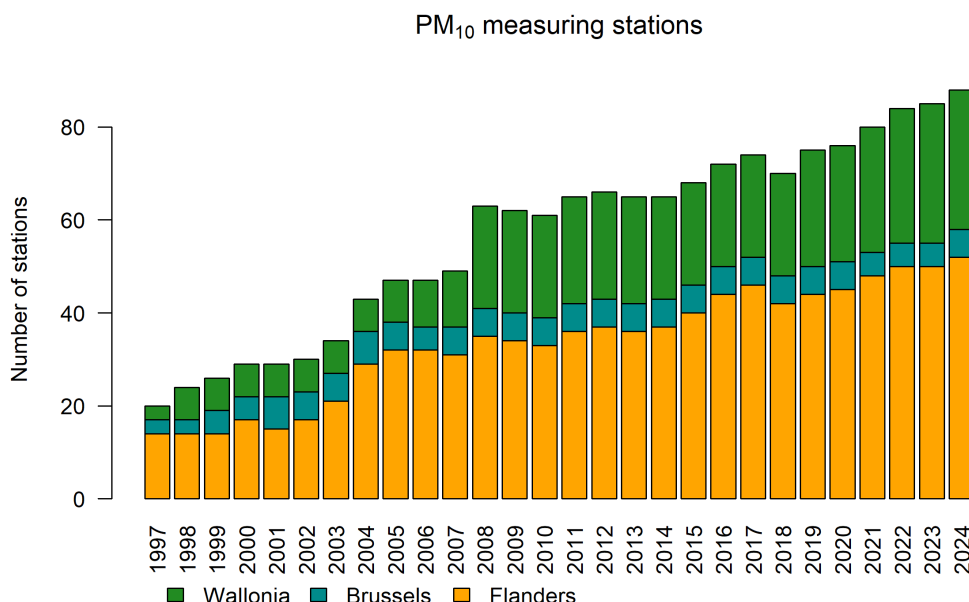


FIG. 4 : Evolution de nombre de stations de mesure de PM₁₀ en Belgique.

5.1.2 Concentrations moyennes annuelles de PM₁₀

La figure 5 montre les concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ par maille de 4x4 km². Les concentrations les plus élevées, de 16 à 20 µg/m³, sont situées dans le nord de la Flandre. Les concentrations sont les plus faibles dans le sud du pays, à l'exception des zones urbaines autour de Tournai, Mons, Charleroi, Namur et Liège. L'annexe D présente l'incertitude de la méthode d'interpolation relative à la carte des concentrations moyennes annuelles.

La Figure 6 présente par le biais de diagrammes en boîtes (« boxplot ») l'évolution du minimum, du 25ème centile (P25), de la médiane (P50), du 75ème centile (P75), de la moyenne et du maximum des concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ en Belgique entre 1997 et 2024⁴. La valeur limite européenne est de 40 µg/m³ pour la concentration moyenne annuelle. Cette valeur limite n'a été dépassée nulle part en Belgique en 2024. La valeur recommandée par l'OMS est de 15 µg/m³, en 2024 cette valeur a été dépassée sur 19 % du territoire.

En 2024, la concentration moyenne annuelle belge en PM₁₀ s'élève à 10,8 µg/m³. Elle s'élève à 13,9 µg/m³ à Bruxelles, en Flandre à 14,3 µg/m³, et en Wallonie à 7,9 µg/m³. La concentration moyenne annuelle pondérée par la population est toujours supérieure à la moyenne arithmétique dans les endroits où la densité de population est plus élevée. En 2024, cette moyenne est de 13,5 µg/m³ pour la Belgique.

En 2024, personne en Belgique n'a été exposé à des concentrations moyennes annuelles supérieures à la norme européenne de 40 µg/m³ (figure 7). L'exposition de la population à des concentrations élevées a diminué comparativement aux années précédentes et est inférieure à l'année 2020, année où les mesures de confinement destinées à réduire les infections par le SARS-CoV-2 étaient les plus sévères. Depuis plusieurs années, on observe une tendance à la baisse de l'exposition de la population. En 2024, 24 %

⁴Pour l'interprétation des diagrammes en boîte, voir l'annexe C

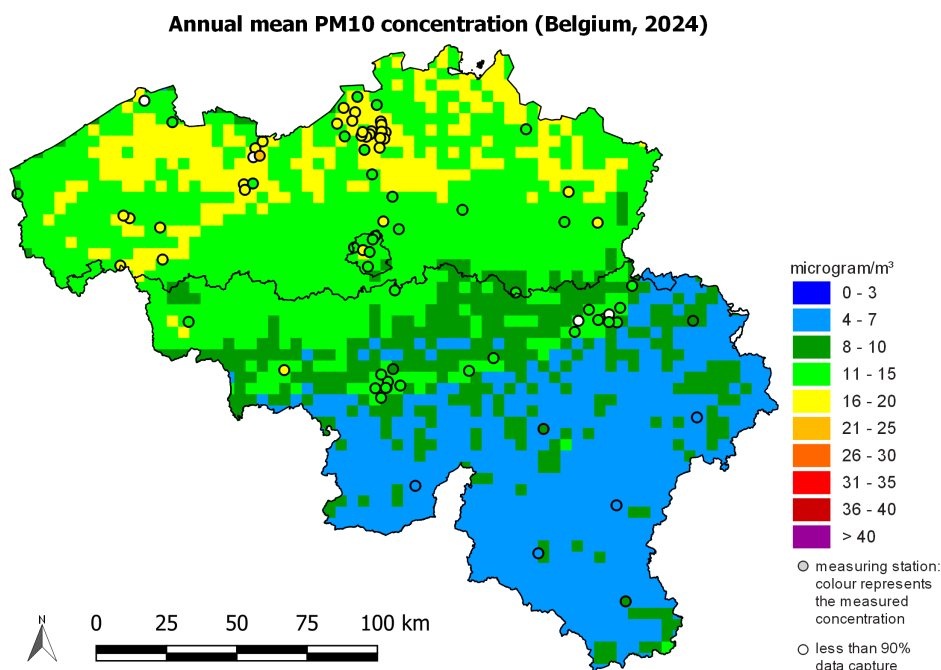


FIG. 5 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle de PM₁₀ en Belgique en 2024. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

de la population était exposée à des concentrations de PM₁₀ supérieures à la valeur indicative de l'OMS (15 µg/m³), alors que cette proportion était de 84 % en 2017, 97 % en 2011 et 100 % en 2007.

5.1.3 Concentrations moyennes journalières de PM₁₀

La valeur limite européenne pour la protection de la population lors d'une exposition de courte durée aux PM₁₀ est de 50 µg/m³ en moyenne journalière. Ce seuil ne peut être dépassé plus de 35 jours par an. La figure 8 montre le nombre de jours de dépassement de cette limite journalière sur base des valeurs moyennes par cellule de 4x4 km². Le seuil européen n'a été dépassé nulle part. Le maximum est de 2 dépassements, ce qui est beaucoup plus faible qu'en 2022 et 2023. Les fluctuations entre les différentes années peuvent être dues, entre autres, aux conditions météorologiques. À long terme, on constate une tendance à la baisse du nombre de jours de dépassement en Belgique depuis 1997, ce qui indique que la réduction observée des émissions de particules primaires et de précurseurs de particules secondaires a un effet favorable sur le nombre de jours de dépassement. La valeur indicative de l'OMS est de 45 µg/m³ en moyenne journalière pour les PM₁₀ avec un maximum de 3 dépassements par an. La figure 9 montre l'évolution des dépassements de cette limite de l'OMS. En 2024, pour la première fois, toutes les cellules respectent cette valeur stricte de l'OMS.

La figure 10 présente la distribution spatiale du nombre de dépassements en Belgique. En 2024, le nombre de jours avec une concentration moyenne supérieure à 50 µg/m³ était nul sur la quasi-totalité du territoire. Une grande partie de la Flandre occidentale a connu un seul dépassement et seuls Liège et une partie du Limbourg ont enregistré deux dépassements. Le seuil de l'OMS, qui est de 3 jours maximum avec une concentration moyenne supérieure à 45 µg/m³, n'a été dépassé nulle part, alors qu'en 2023, c'était encore le cas sur 18 % du territoire. L'exposition de la population est calculée sur base de la densité de population présente dans les mailles de la grille (voir figure 11 pour les dépassements du seuil de l'UE et figure 12 pour les dépassements du seuil de l'OMS). Ici aussi, il est clair qu'en 2024, pour la première fois, personne n'a été exposé pendant plus de 3 jours à une concentration moyenne journalière supérieure à 45 µg/m³. En 2017, cette proportion était encore de 93 %.

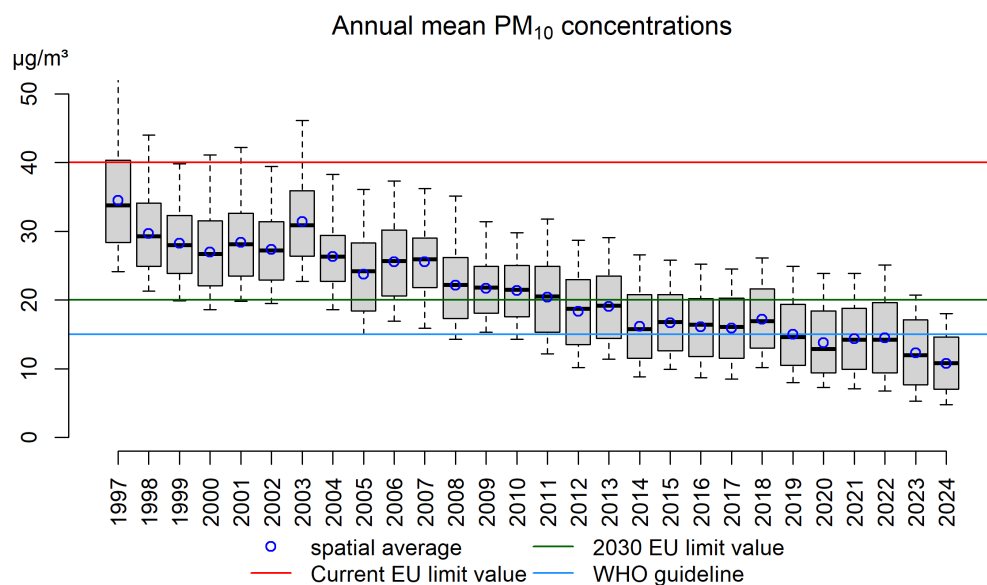


FIG. 6 : Diagramme en boîte des concentrations moyennes annuelles de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur la période 1997–2024 en Belgique. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

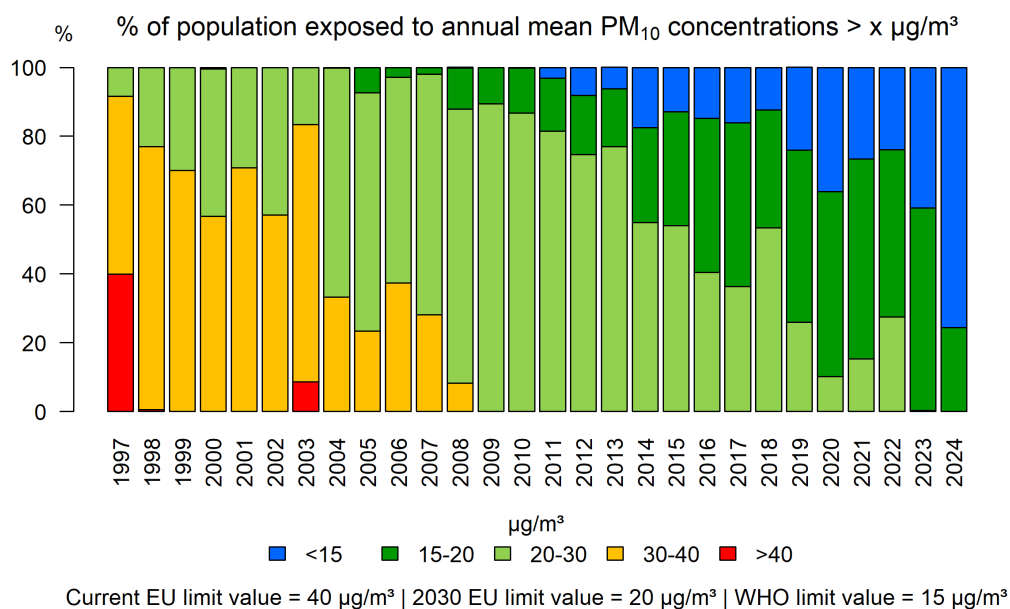


FIG. 7 : Evolution de l'exposition de la population aux concentrations moyennes annuelles de PM_{10} , calculée sur base de la technique d'interpolation RIO.

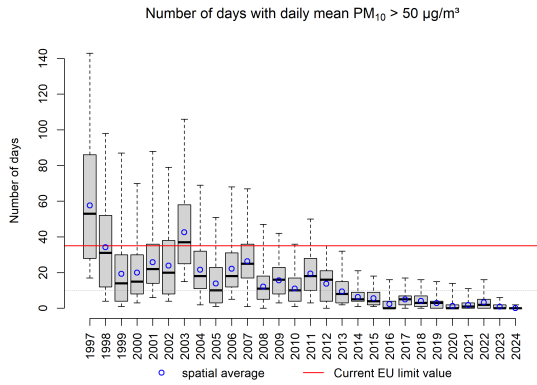


FIG. 8 : Diagramme en boîte du nombre de jours par an où les concentrations moyennes journalières de PM_{10} ont été supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

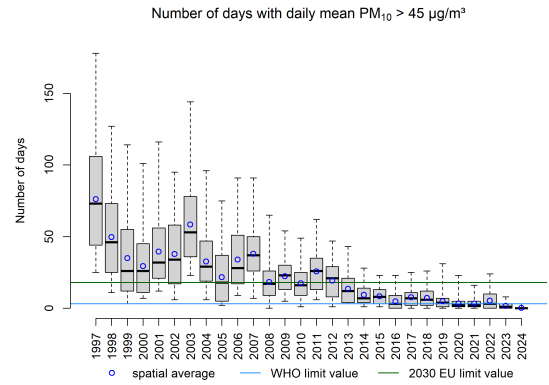


FIG. 9 : Diagramme en boîte du nombre de jours par an où les concentrations moyennes journalières de PM_{10} ont été supérieures à $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

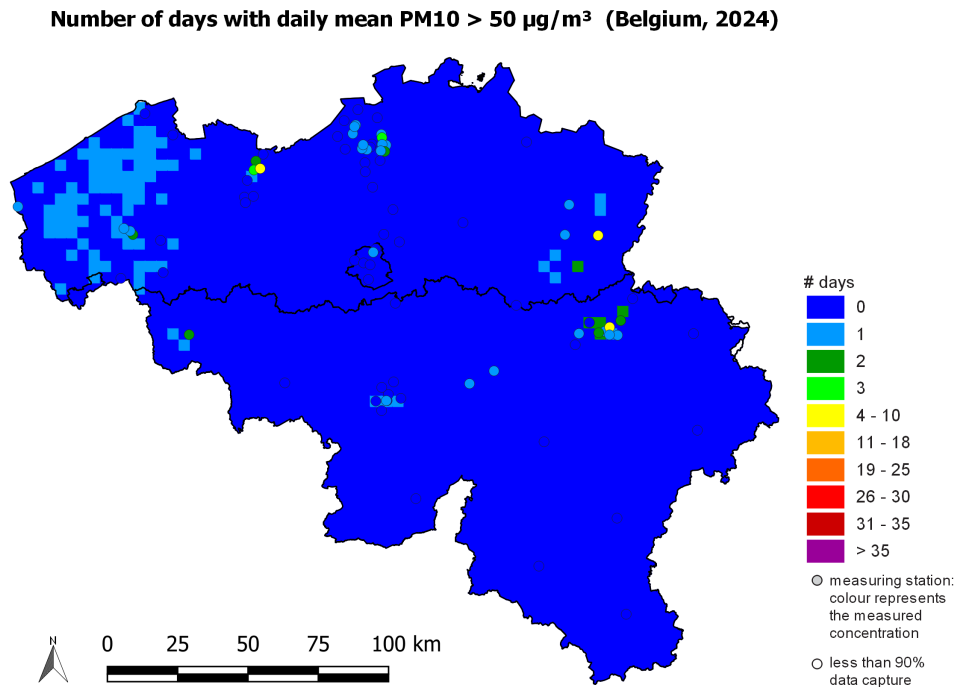


FIG. 10 : Distribution spatiale du nombre de jours en 2024 où la concentration moyenne journalière de PM_{10} a dépassé $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Belgique. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

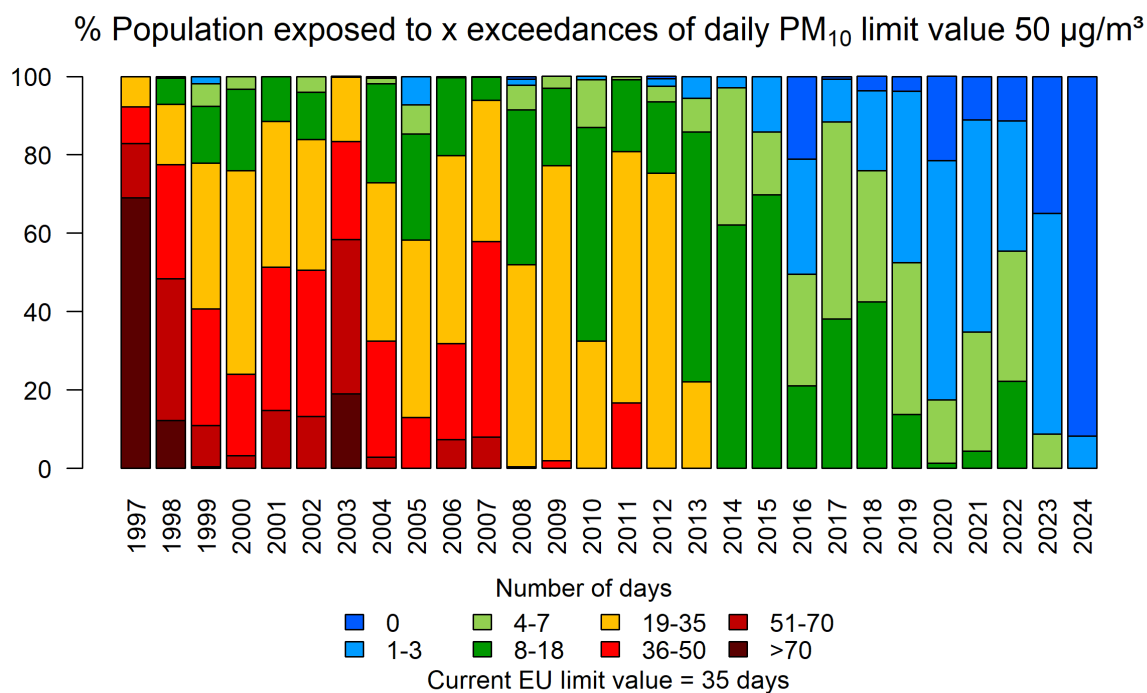


FIG. 11 : Evolution de l'exposition de la population à des jours de concentration moyenne journalière de PM₁₀ supérieure à 50 µg/m³. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

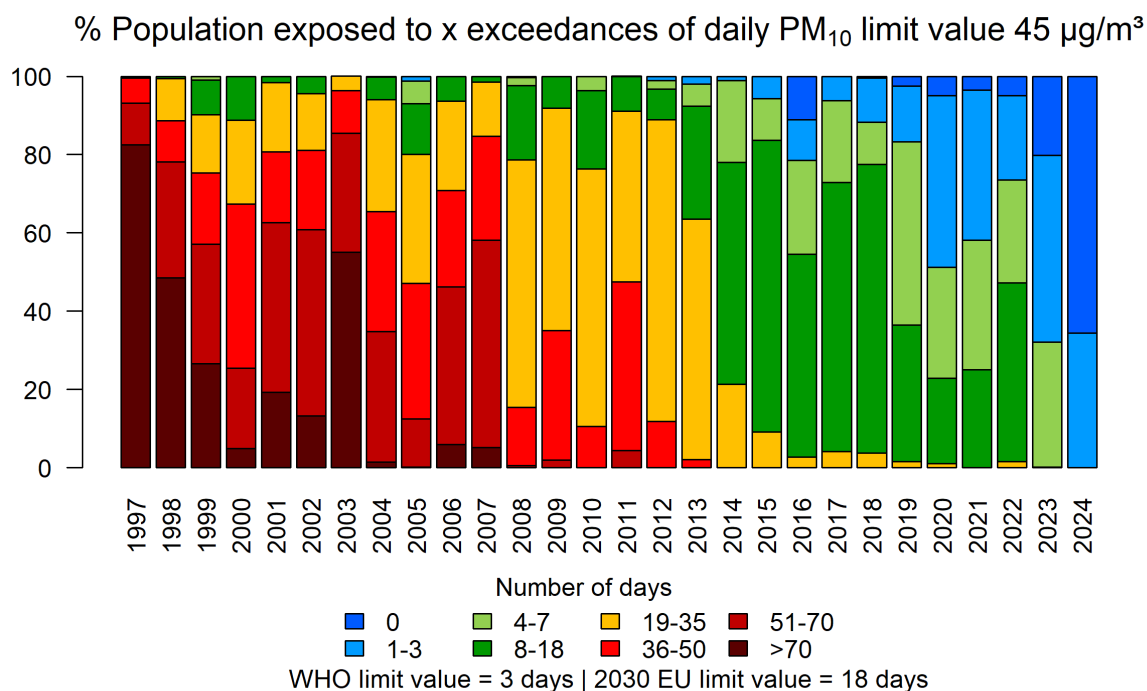


FIG. 12 : Evolution de l'exposition de la population à des jours de concentration moyenne journalière de PM₁₀ supérieure à 45 µg/m³. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

5.2 PM_{2.5}

5.2.1 Stations de mesure PM_{2.5}

En 2024, les concentrations de PM_{2.5} ont été mesurées dans 88 stations, soit le nombre le plus élevé depuis 2000. L'augmentation du nombre de stations de mesure, comme le montre la figure 13, entraîne une diminution de l'incertitude sur les valeurs interpolées discutées dans ce chapitre.

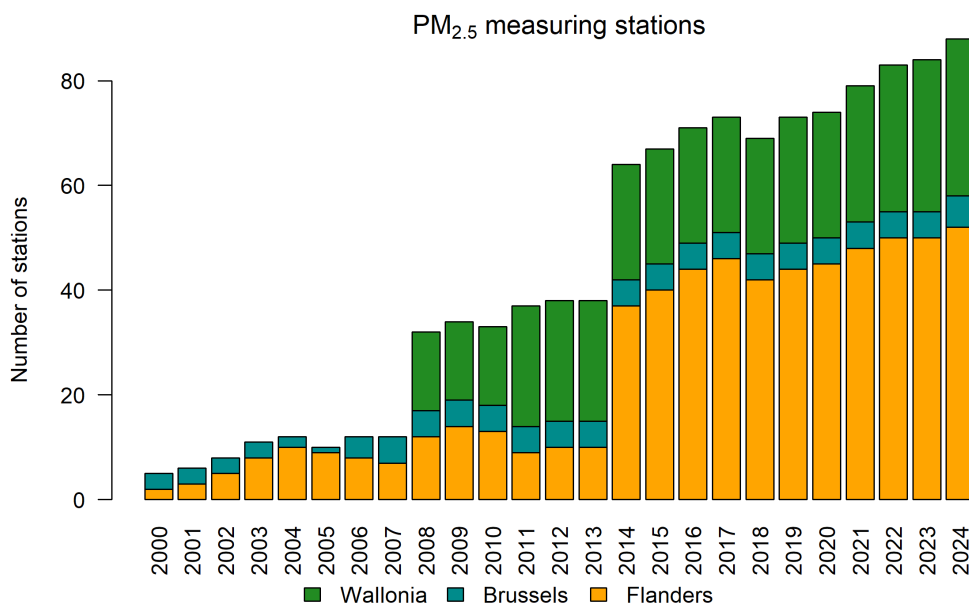


FIG. 13 : Evolution du nombre de stations de mesure de PM_{2.5} en Belgique.

5.2.2 Concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5}

La figure 14 présente les concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5} en Belgique. Il existe un gradient nord-sud marqué, les concentrations étant les plus élevées en Flandre, plus faibles en Wallonie au nord du Sillon Sambre-et-Meuse, et les plus faibles dans le sud du pays.

Les valeurs de la figure 14 peuvent également être représentées par des diagrammes en boîte⁵. La figure 15 présente le minimum, la moyenne, la médiane, et le maximum des concentrations sur base des valeurs interpolées pour la période 2005–2024. La valeur limite européenne est de 25 µg/m³ en concentration moyenne annuelle. Elle n'a été dépassée nulle part en 2024. La valeur conseillée par l'OMS est de 5 µg/m³, en 2024 cette valeur a été dépassée sur 60 % du territoire.

En 2024, la concentration spatiale moyenne annuelle de PM_{2.5} s'élève à 6,2 µg/m³ en Belgique. Cette concentration moyenne annuelle atteint 7,4 µg/m³ à Bruxelles, 8,1 µg/m³ en Flandre, et 4,6 µg/m³ en Wallonie. La concentration moyenne annuelle pondérée en fonction de la population est toujours supérieure à la moyenne arithmétique, elle est de 7,5 µg/m³ pour tout le territoire belge.

En 2024, la population belge n'a pas été exposée à des concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5} supérieures à la valeur limite européenne de 25 µg/m³. Cependant, 87 % de la population a été exposée à des concentrations supérieures à la valeur guide de l'OMS de 5 µg/m³ (figure 16).

5.2.3 Indicateur d'exposition moyenne

Afin de réduire l'exposition de la population aux PM_{2.5}, la directive européenne 2008/50/CE prévoit un indicateur supplémentaire : l'« indice d'exposition moyen » (IEM). L'IEM est une valeur cible nationale,

⁵Pour l'interprétation des diagrammes en boîte, voir l'annexe C

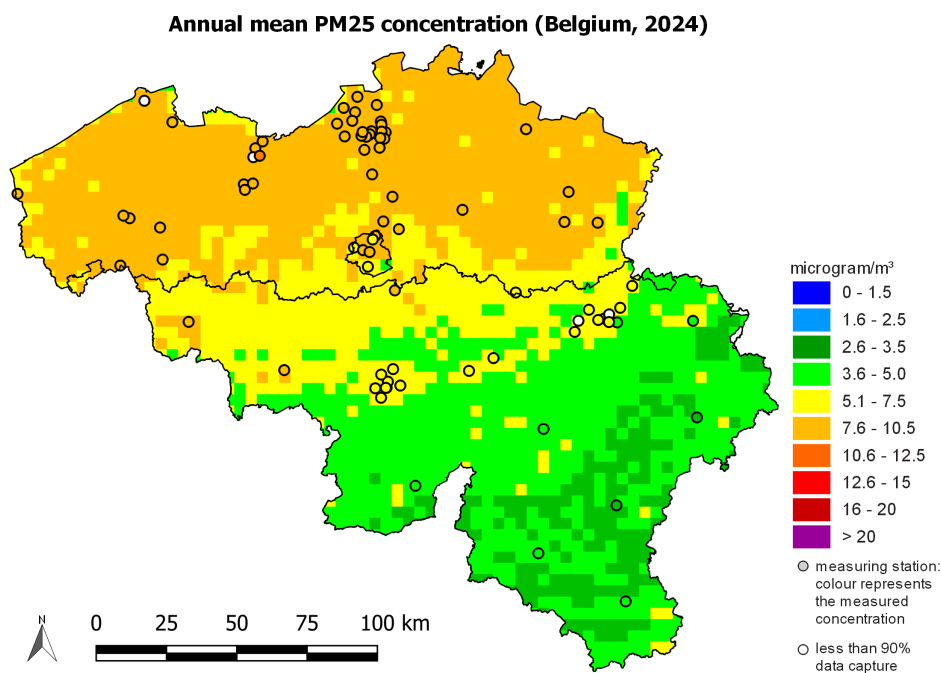


FIG. 14 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle de PM_{2.5} en Belgique en 2024. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

il correspond aux concentrations de PM_{2.5} mesurées dans les stations de fond urbain moyennées sur une période de trois ans. La directive européenne définit un objectif de réduction de l'IEM pour 2020 en fonction de la valeur calculée pour la période de départ (années 2009, 2010 et 2011 pour la Belgique). En 2020, l'IEM devait atteindre 15,2 µg/m³, aucun objectif n'a été fixé au-delà de 2020 dans la directive.

L'IEM moyen pour les années 2022, 2023 et 2024 est de 8,7 µg/m³ (voir tableau 5) et donc en-dessous de l'objectif fixé pour 2020.

TAB. 5 : Liste des concentrations de PM_{2.5} pour 2022, 2023 et 2024 par station de mesure de la pollution de fond urbaine qui ont été reprises dans le calcul de l'indicateur d'exposition moyenne ou IEM.

Nom de la station	2022	2023	2024
MOLENBEEK-SAINT-JEAN	10,26	9,64	8,44
UCCLE	9,44	8,54	6,99
LIEGE	7,25	6,45	5,48
CHARLEROI	7,97	6,62	6,31
BRUGGE	11,17	8,45	—
GENT	13,69	9,41	8,95
ANTWERPEN	11,50	9,32	9,25
SCHOTEN	11,05	8,58	—
Moyenne	10,29	8,38	7,57
Moyenne 2022-2024	8,75		
IEM	8,7		

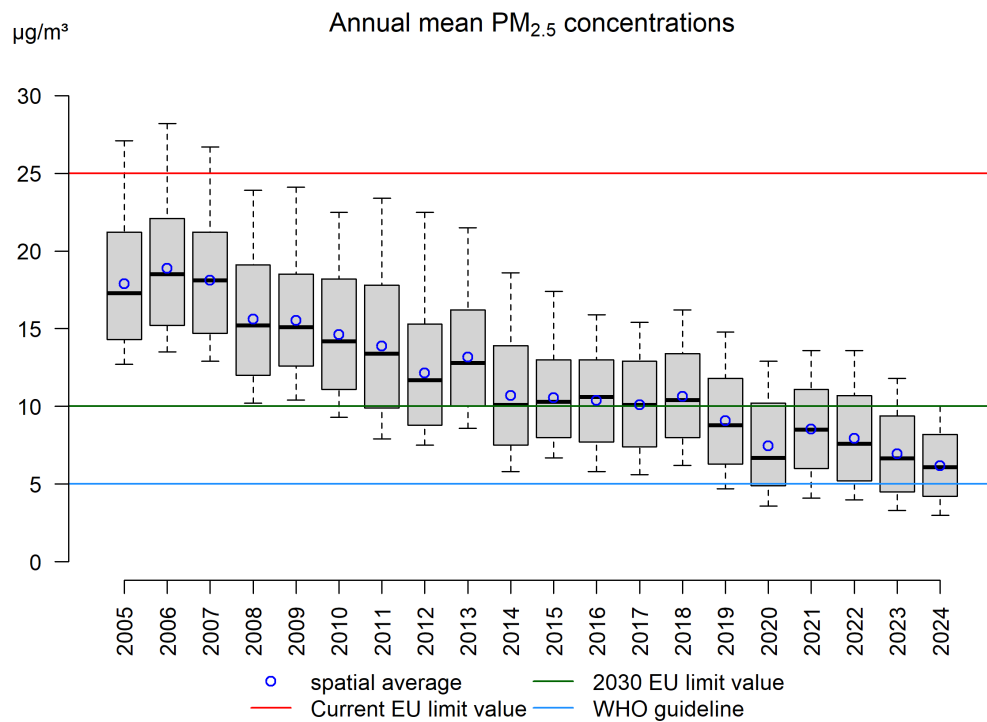


FIG. 15 : Diagramme en boîtes des concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5} (µg/m³) sur la période 2005–2024. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

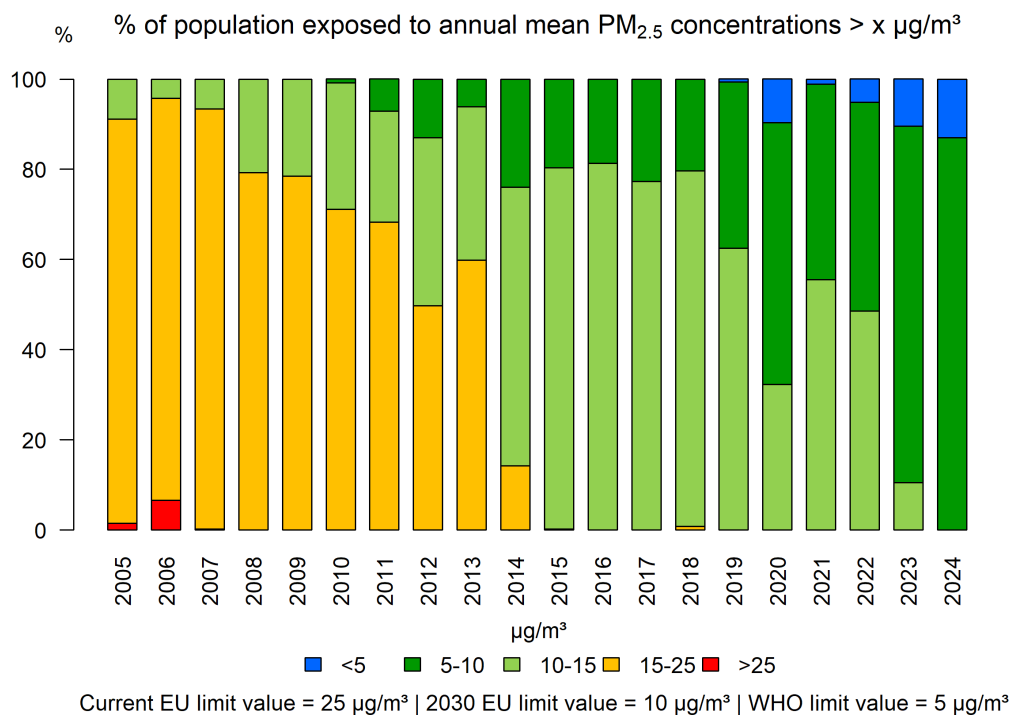


FIG. 16 : Évolution de l’exposition de la population aux concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5}, calculée sur base de la technique d’interpolation RIO.

5.3 Black Carbon (BC)

5.3.1 Stations de mesures BC

Les mesures de BC ont débuté dans les réseaux télémétriques en 2007 en Flandre, en 2009 à Bruxelles et en 2011 en Wallonie (figure 17). Depuis lors, le nombre de stations a augmenté pour atteindre un maximum de 43 en 2023. En 2024, des mesures ont été effectuées dans 37 stations, dont 23 en Flandre, 3 à Bruxelles et 11 en Wallonie.

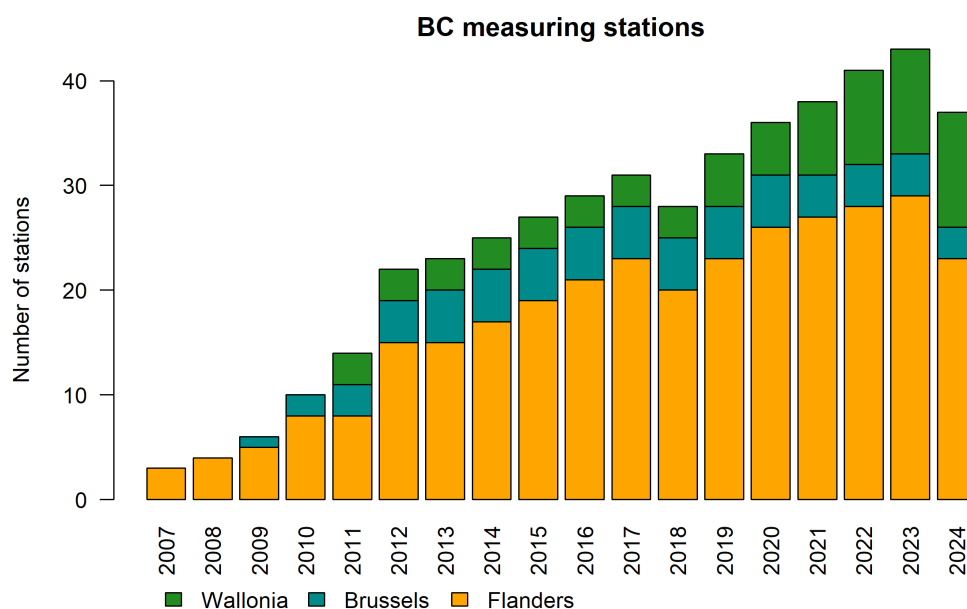


FIG. 17 : Evolution du nombre de stations de mesure du BC en Belgique.

5.3.2 Concentrations moyennes annuelles en BC

Le BC est un polluant principalement lié à la combustion incomplète des carburants fossiles, des biocarburants ou de la biomasse. Les concentrations les plus élevées sont donc observées dans les zones où le trafic est intense et aux endroits où la combustion de biomasse est importante. Actuellement, il n'existe pas de valeur limite ou cible pour le BC. La figure 18 reprend la distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle en BC en Belgique pour 2024. Il faut souligner que d'une part, le nombre de stations de mesure du carbone noir est actuellement faible par rapport à la superficie à couvrir en Belgique (particulièrement en Wallonie au sud du sillon Sambre et Meuse) et la répartition spatiale des stations très inhomogène et que d'autre part, les concentrations de BC diminuent rapidement lorsqu'on s'éloigne des sources. La carte des concentrations présentée sur la figure 18 n'est donc donnée qu'à titre indicatif.

Les valeurs de la figure 18 peuvent également être représentées dans un diagramme en boîte⁶. La figure 19 reprend l'évolution des valeurs maximale, de la moyenne, de la médiane, et du minimum calculées sur base des valeurs interpolées pour la période 2010–2024.

En 2024, la concentration moyenne annuelle de BC pour la Belgique s'élève à $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Elle atteint $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Bruxelles, $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Flandre, et $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Wallonie. La moyenne annuelle pondérée en fonction de la population pour la Belgique, atteint $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et est supérieure à la moyenne arithmétique.

⁶Pour l'interprétation des diagrammes en boîte, voir l'annexe C

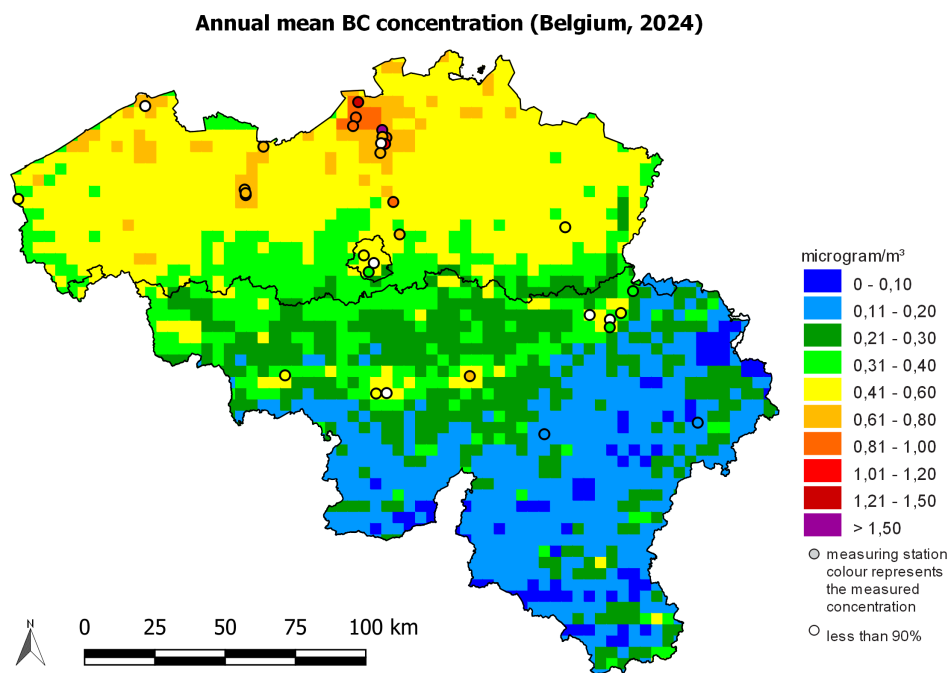


FIG. 18 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle de BC en Belgique en 2024. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

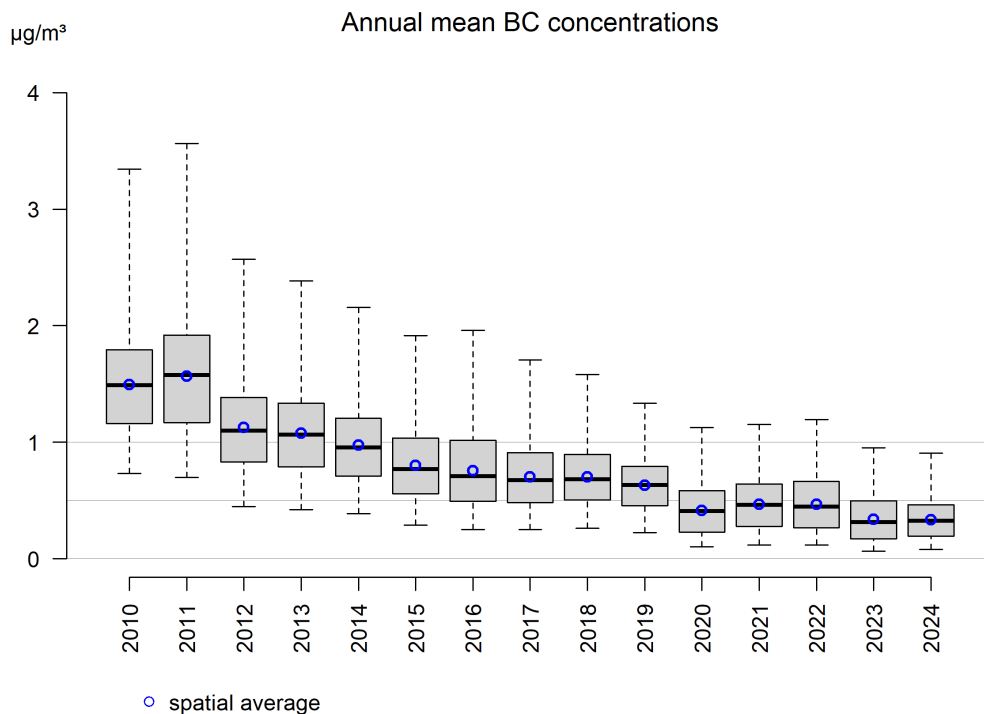


FIG. 19 : Diagramme en boîtes des concentrations moyennes annuelles de BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur la période 2010–2024. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

6 Oxydes d'azote

Les oxydes d'azote (NO_x) désignent le mélange des composés gazeux de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO_2). Les oxydes d'azote sont principalement émis par les activités humaines par le biais des processus de combustion à haute température, qui provoquent une oxydation de l'azote présent dans l'air. Les principales sources de NO_x sont le transport routier, la production d'énergie et l'industrie (y compris les raffineries), ainsi que le chauffage des bâtiments. Les NO_x sont principalement émis sous la forme de NO et dans une moindre mesure de NO_2 . Cependant, la durée de vie de NO dans l'air est très courte (quelques minutes). Par des réactions photochimiques avec l'ozone ou les composés organiques volatils (COV) entre autres, NO est transformé en NO_2 dont la durée de vie dans l'atmosphère est beaucoup plus longue. Outre les émissions anthropiques, les NO_x sont également émis dans l'atmosphère par des processus biochimiques, les orages et les feux de forêt.

Les oxydes d'azote entraînent l'acidification et l'eutrophisation des environnements naturels. Ils jouent également un rôle important dans la formation d'ozone et de particules secondaires. L'exposition à de très fortes concentrations de NO_2 peut avoir des effets nocifs immédiats sur la santé. Il existe des impacts sur la santé évidents associés aux émissions du trafic et les concentrations de NO_2 sont fortement corrélées à la pollution atmosphérique liée au trafic. Pour cette raison, et parce que NO_2 est également indirectement nocif pour l'homme et l'environnement, la Commission européenne et l'OMS ont fixé des valeurs limites.

6.1 Stations de mesure NO_2

La figure 20 montre l'évolution du nombre de stations de mesure pour NO_2 . En 1990, il y avait 26 stations de mesure, en 2024 95 : 16 en région bruxelloise, 26 en Wallonie et 53 en Flandre. Suite à l'augmentation du nombre de points de mesure, l'incertitude de la méthode d'interpolation RIO a diminué.

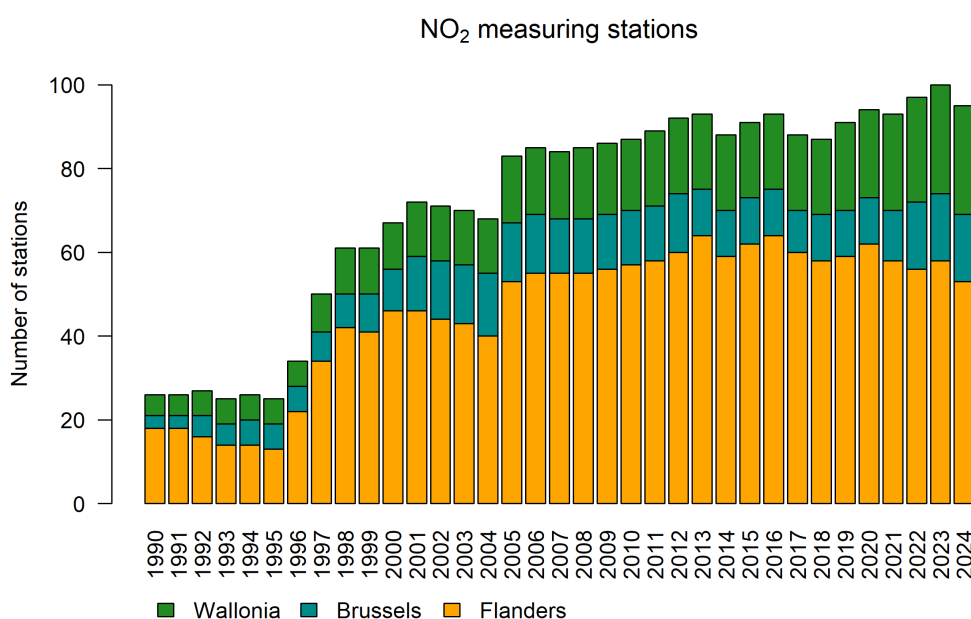


FIG. 20 : Évolution du nombre de stations de mesure de NO_2 en Belgique.

6.2 Concentrations moyennes annuelles de NO_2

La valeur limite annuelle européenne pour la protection de la population est de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette valeur limite est d'application depuis 2010. De manière générale, la figure 21 révèle que les moyennes annuelles les plus élevées sont mesurées dans les zones urbaines. Cela n'est pas étonnant étant donné que NO_2 est fortement lié au trafic routier.

À cause de la résolution spatiale ($4 \times 4 \text{ km}^2$), les dépassements locaux de la valeur limite pour NO_2 ne sont pas toujours visibles sur les cartes d'interpolation. La valeur maximale de la concentration moyenne annuelle de NO_2 , sur l'ensemble des mailles en Belgique, s'élève à $24,4 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$. La moyenne spatiale annuelle est de $9,6 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Flandre, $13,4 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Bruxelles et $5,3 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Wallonie. En outre, la moyenne spatiale annuelle sur l'ensemble de la Belgique pondérée en fonction de la densité de population s'élève à $10,9 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette valeur est nettement supérieure à la moyenne spatiale annuelle sur la Belgique non pondérée en fonction de la population ($7,2 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$), ce qui reflète le fait que les zones les plus habitées sont également celles qui présentent les plus fortes concentrations moyennes annuelles de NO_2 . Ce constat est également clairement visible sur la figure 23, qui présente la relation entre la concentration moyenne annuelle de NO_2 et la densité de population cumulée. En comparant l'année 2024 avec la moyenne de la période 2019–2023, nous constatons toujours une diminution, quelle que soit la densité de population dans la maille. Dans les mailles de la grille avec une densité de population de 1000 habitants par km^2 ou plus, la moyenne annuelle pour 2024 est de $12,4 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour la moyenne des années 2019–2023, la concentration moyenne annuelle pour toutes les mailles de la grille ayant une densité de population supérieure ou égale à 1000 habitants par km^2 s'élevait à $15,4 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'annexe D présente l'incertitude de la méthode d'interpolation relative à la carte de la concentration moyenne annuelle.

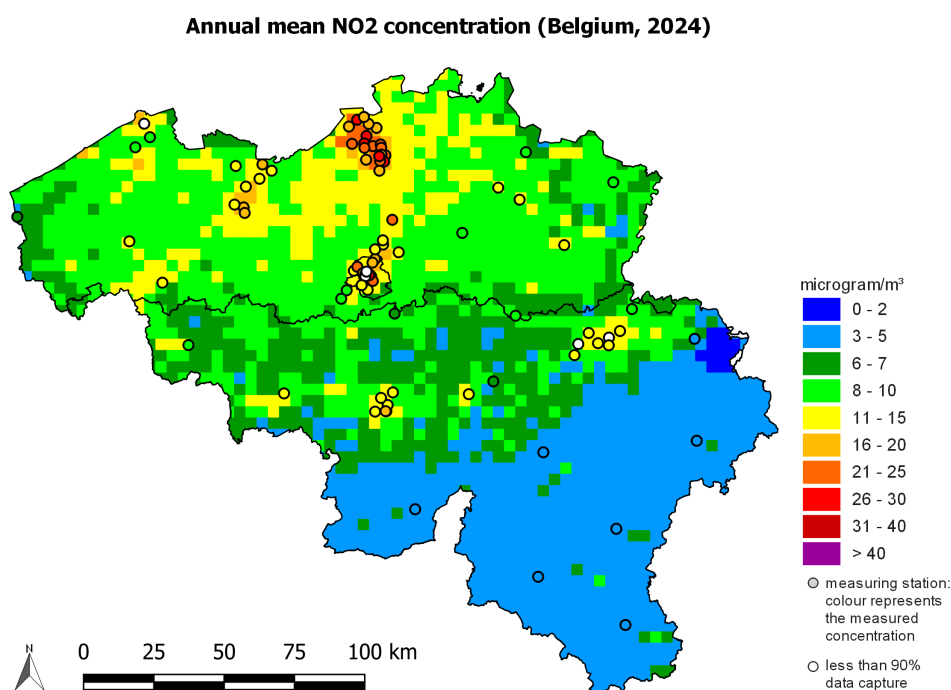


FIG. 21 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle de NO_2 en Belgique en 2024. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

Les valeurs de la figure 21 peuvent également être représentées dans un diagramme en boîte⁷. La figure 22 reprend les valeurs interpolées pour 2024 et toutes les années précédentes depuis 1990, et montre l'évolution de la valeur maximale, de la moyenne, de la médiane, et du minimum. La valeur limite européenne est de $40 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ en concentration moyenne annuelle. En 2024, cette limite n'a été dépassée nulle part en Belgique. La valeur indicative de l'OMS, $10 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ en concentration moyenne annuelle, a été dépassée sur 18 % du territoire en 2024, ce qui est la valeur la plus basse depuis le début des mesures.

Les mesures prises pour lutter contre la pandémie de COVID-19 ont eu un impact sur les activités économiques et sociales en Belgique en 2020 et 2021. Une étude spécifique de l'impact sur les concentrations de divers polluants pendant le confinement des semaines 12 à 19 de 2020, a montré que les mesures prises ont eu un impact positif sur les concentrations de NO_2 , en particulier à proximité du trafic [7]. La diminution observée en 2020 sur la figure 22 est donc en partie due à ces mesures temporaires. On constate

⁷Pour l'interprétation des diagrammes en boîte, voir l'annexe C

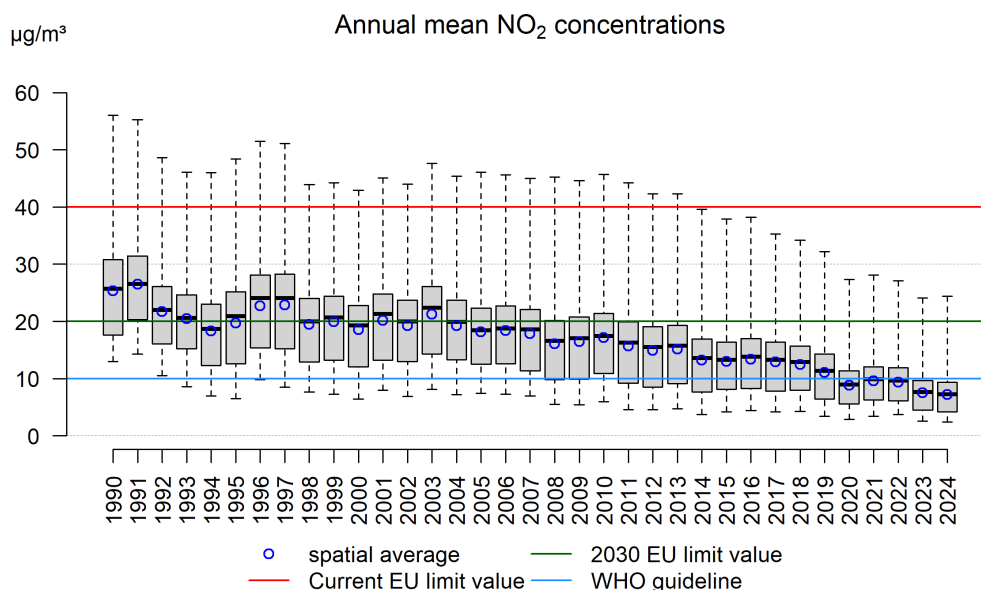


FIG. 22 : Diagramme en boîte des concentrations moyennes annuelles de NO₂ (µg/m³) sur la période 1990–2024 en Belgique. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

cependant que les concentration moyennes annuelles sont plus faibles en 2023 et 2024 par rapport à 2020. La tendance à la baisse observée depuis 2010 se poursuit.

Depuis 2003, le pourcentage de la population exposé à des concentrations moyennes annuelles élevées de NO₂ est en diminution (figure 24). En 1998, le pourcentage de la population belge exposé à une concentration moyenne annuelle supérieure à la valeur limite européenne était de 6 %. En 2013, ce chiffre était tombé à 1 % et depuis 2014, personne n’a été exposé à des concentrations moyennes annuelles supérieures à la valeur limite européenne. Les résultats, cependant, doivent être interprétés avec une certaine prudence. L’exposition de la population est estimée à partir d’une interpolation spatiale des mesures et des chiffres de population par cellule de 4x4 km². Comme mentionné précédemment, il s’agit d’une valeur moyenne. Localement, en particulier le long des routes à fort trafic et dans les « street canyons » les concentrations de NO₂ peuvent être supérieures aux valeurs calculées avec la méthode d’interpolation RIO pour une maille de 4x4 km². Par conséquent, bien que la figure 24 ne montre aucune exposition à des concentrations élevées (> 40 µg/m³), localement la population peut être exposée à des concentrations supérieures à 40 µg/m³.

6.3 Valeurs horaires de NO₂

Pour protéger la population contre une exposition à des pics de concentration de NO₂, la législation européenne impose une valeur limite horaire de 200 µg/m³. Cette limite horaire ne peut être dépassée plus de 18 heures par an. En Belgique, cette valeur limite horaire est largement respectée sur l’ensemble du territoire. Très localement, sur des artères très fréquentées, il peut arriver que le seuil de 200 µg/m³ soit dépassé à quelques reprises par an, mais l’ensemble des points de mesure reste en dessous des 18 heures de dépassement autorisées. En raison de la résolution de la méthode d’interpolation RIO, les dépassements très locaux ne sont à nouveau pas visibles. La 19^{ème} valeur horaire la plus élevée en Belgique en 2024 est présentée à la figure 25 (elle correspond au 99,8^{ème} centile de toutes les concentrations moyennes horaires d’une année). La valeur maximum de la 19^{ème} valeur la plus élevée en Belgique en 2024 (pour les moyennes par cellule de 4x4 km²), est observée en Flandre et s’élève à 68,9 µg/m³, ce qui est largement en-dessous de la limite européenne de 200 µg/m³.

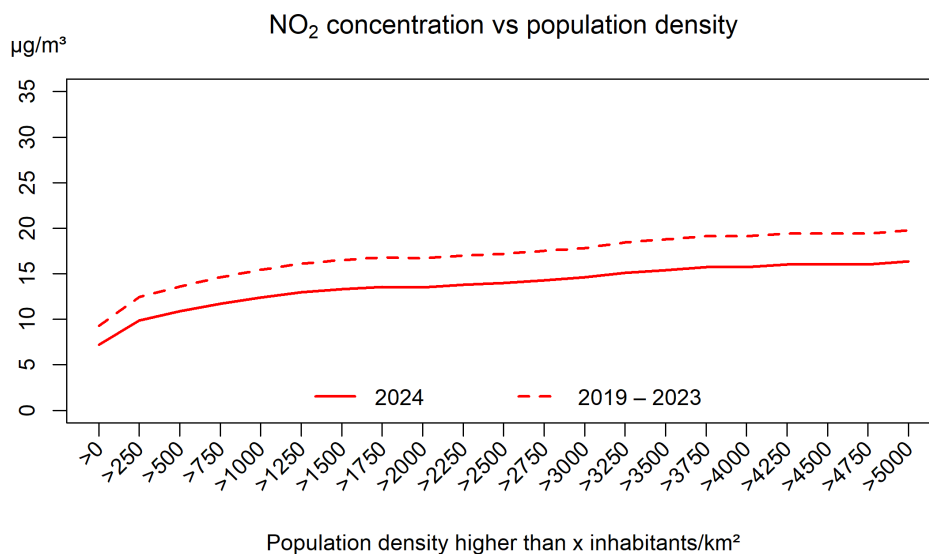


FIG. 23 : Relations entre les concentrations moyennes annuelles interpolées de NO₂ et la densité de population (habitants/km²). Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

Les valeurs de la figure 25 peuvent également être représentées par un diagramme en boîte⁸. La figure 26 reprend les valeurs interpolées pour 2024 et toutes les années précédentes depuis 1990, et montre l'évolution de la valeur maximale, de la moyenne, de la médiane, et du minimum. De 1990 à 2009, cet indicateur des pics de concentration est resté stable, mais une tendance à la baisse est observée au cours de la décennie suivante.

⁸Pour l'interprétation des diagrammes en boîte, voir l'annexe C

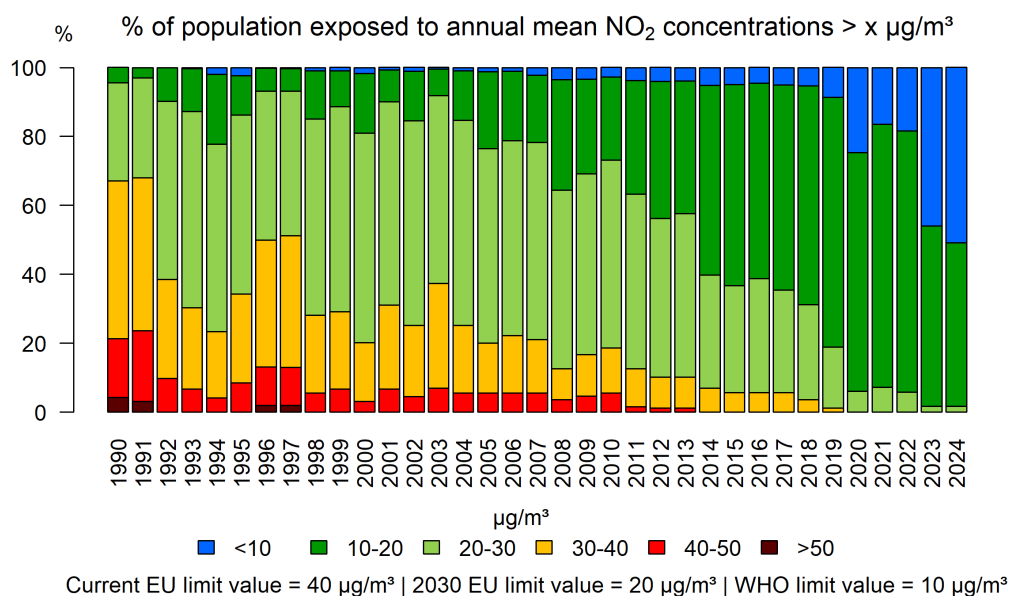


FIG. 24 : Pourcentage de la population belge exposée à des concentrations moyennes annuelles de NO₂. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

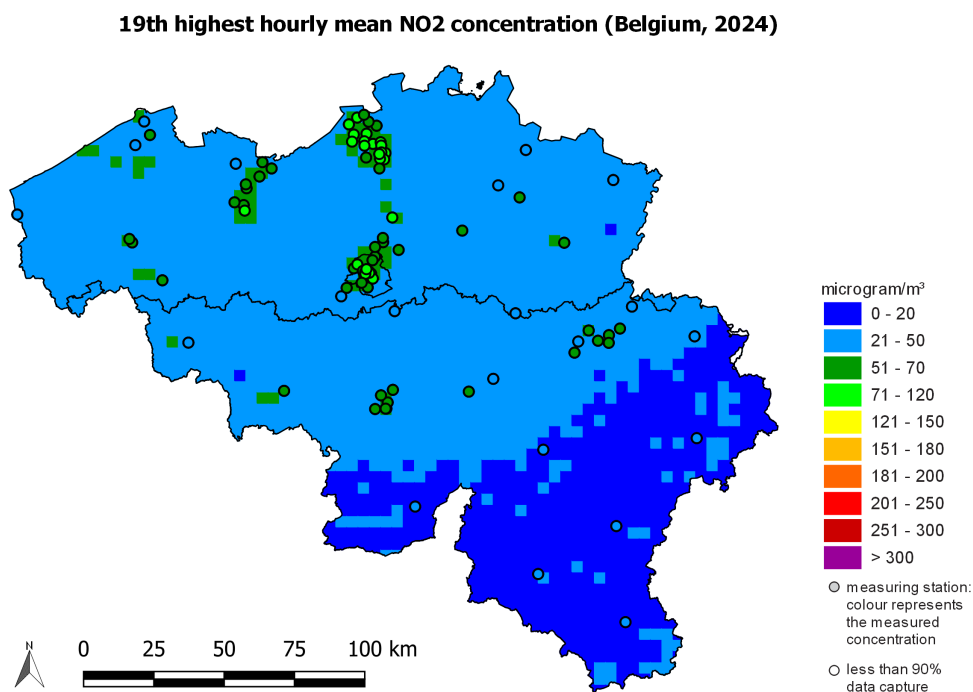


FIG. 25 : Distribution spatiale de la 19^{ème} concentration moyenne horaire de NO₂ la plus élevée en Belgique en 2024. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

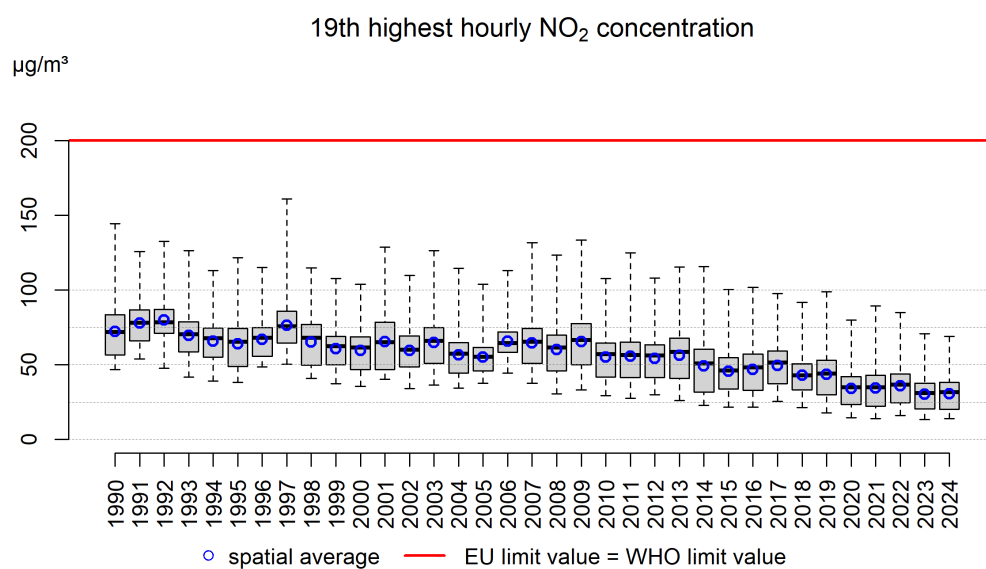


FIG. 26 : Diagramme en boîte de la 19^{ème} concentration horaire moyenne la plus élevée de NO₂ (µg/m³) sur la période 1990–2024. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

7 Ozone

L’ozone (O_3) est un gaz très réactif formé par réaction photochimique dans la troposphère. L’ozone n’est donc pas émis directement dans l’atmosphère : il s’agit d’un polluant « secondaire ». L’action des rayons ultraviolets sur les polluants présents dans l’atmosphère (polluants précurseurs) lors des journées d’été chaudes et ensoleillées produit ainsi de l’ozone. Les précurseurs de l’ozone sont principalement les NO_x , les composés organiques volatils (COV) et le CO. En Belgique, environ la moitié des NO_x sont émis par le transport. Outre l’ozone produit pendant les jours chauds et ensoleillés, une concentration de fond d’ozone est toujours présente. Les émissions de NO_x ($= NO + NO_2$) ont un effet double sur les concentrations d’ozone. D’une part, NO peut réagir avec l’ O_3 et le détruire et former du NO_2 , et d’autre part, NO_2 entraîne à nouveau la formation d’ O_3 . Dans l’atmosphère, on observe ainsi un équilibre chimique entre ces polluants. NO ayant une durée de vie réduite dans l’atmosphère, l’ozone est surtout détruit aux endroits caractérisés par de fortes émissions de NO. Cette réaction forme alors du NO_2 qui a une durée de vie plus longue dans l’atmosphère. NO_2 peut ainsi être transporté sur des distances importantes, et former de l’ozone à des endroits éloignés des sources d’émission. C’est la raison pour laquelle les concentrations d’ozone sont généralement plus élevées dans les zones rurales que dans les environnements urbains où les émissions de NO sont beaucoup plus importantes.

En raison de son fort pouvoir oxydant, l’ozone peut avoir des effets nocifs sur la santé de la population, sur la faune et la flore, et sur les matériaux. Chez l’homme, une exposition à des concentrations élevées d’ozone peut engendrer des problèmes de santé aigus comme des irritations des yeux, du nez et de la gorge, une toux irritante et une hypersensibilité pulmonaire. Pour la végétation, l’exposition chronique à des concentrations d’ozone même légèrement élevées provoque notamment la réduction du rendement des cultures, la diminution de la biomasse et de la biodiversité dans les forêts.

L’impact de l’ozone ne se limite pas à des effets nocifs sur la santé humaine, sur la végétation ou sur les matériaux. Après le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d’azote, l’ozone troposphérique est le plus important gaz à effet de serre anthropique. Indirectement l’ozone contribue encore davantage à l’effet de serre, car les perturbations de la végétation entraînent une réduction de l’absorption du CO_2 .

7.1 Stations de mesure de l’ozone

En 2024, les concentrations d’ozone ont été mesurées dans 35 stations. L’augmentation du nombre de stations de mesure, comme le montre la figure 27, entraîne une diminution de l’incertitude des valeurs interpolées discutées dans ce chapitre.

7.2 Ozone et l’impact sur la santé

7.2.1 NET60

La valeur cible européenne pour la protection de la population est basée sur le maximum journalier de la concentration d’ozone en moyenne sur huit heures (il s’agit d’une moyenne glissante – c’est-à-dire que la moyenne sur huit heures est calculée toutes les heures). En moyenne sur trois ans, cette valeur ne peut dépasser $120 \mu g/m^3$ plus de 25 fois par an. Il s’agit d’un objectif à moyen terme (OMT) qui s’applique à partir de 2010 (la moyenne s’effectue sur 2010–2012). L’objectif à long terme est de n’avoir aucun dépassement de ce seuil. Le nombre annuel de jours pour lesquels le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures dépasse $120 \mu g/m^3$ est appelé NET60⁹.

Les figures 28 et 29 montrent la distribution spatiale du nombre de jours de dépassement en 2024 et en moyenne sur 2022, 2023 et 2024. En 2024, le nombre de jours de dépassement varie fortement sur le territoire belge. Les valeurs les plus élevées sont observées dans l’est de la Flandre. Les nombres de jours de dépassement les plus faibles sont observés dans le sud du pays. La moyenne sur trois ans est plus haut et montre une distribution spatiale plus homogène. En 2024, la valeur du NET60 la plus élevée observée en Belgique est de 15 jours. La maximum, en moyenne sur trois ans, est de 20 jours, l’OMT est donc respecté sur l’intégralité du pays. L’objectif à long terme, à savoir aucun jour de dépassement,

⁹NET60 : Number of Exceedances above a Threshold of 60 ppb ($=120 \mu g/m^3$).

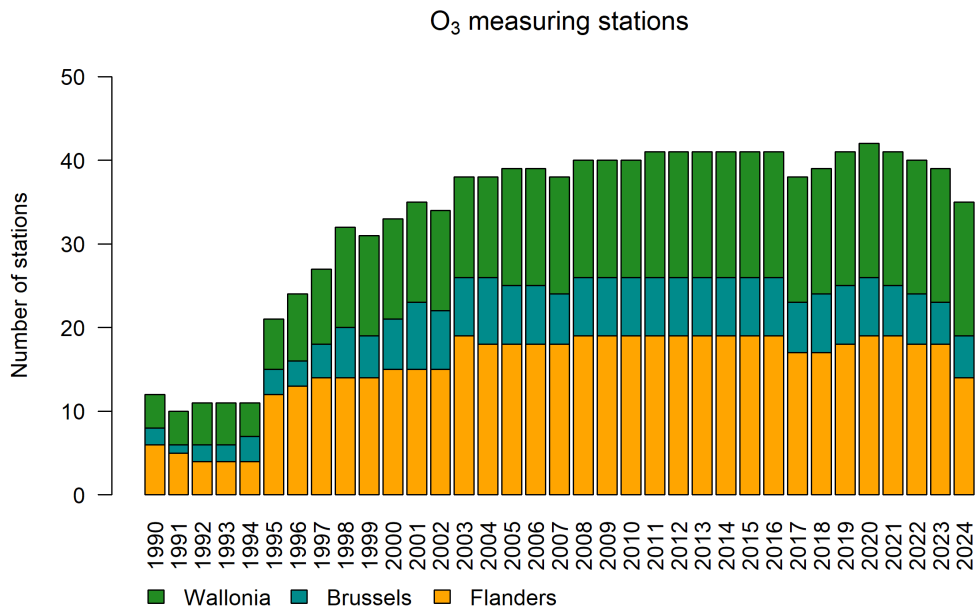


FIG. 27 : Evolution du nombre de stations de mesure d'O₃ en Belgique.

n'est respecté nulle part en 2024. La moyenne spatiale de NET60 (calculée sur la période 2022–2024) en Belgique est de 12,0 jours.

Le nombre de jours pour lesquels le maximum journalier de la concentration moyenne sur 8 heures est supérieur à 120 µg/m³, présente une forte variation d'une année à l'autre en fonction des conditions météorologiques durant l'été (voir figure 30). Il n'y a pas de tendance clairement visible dans l'évolution de la moyenne spatiale. L'année la plus défavorable concernant les concentrations d'ozone depuis 1990 est 2003, avec un maximum de 60 jours de dépassement en Belgique. L'année 2018 était également une des 5 années les plus défavorables pour l'ozone depuis 1990. La moyenne sur les trois dernières années reste en dessous de la valeur cible européenne de 25 jours.

L'évolution du pourcentage de la population exposée à des maxima journaliers de la concentration moyenne sur 8 heures supérieurs à 120 µg/m³ est présentée sur la figure 31. On peut constater que l'exposition de la population varie fortement selon les années. Il apparaît clairement que 2021 a été une année météorologique exceptionnellement défavorable pour la formation d'ozone. En 2024, personne en Belgique n'a été exposé à plus de 25 jours avec des concentrations moyennes d'ozone sur 8 heures supérieures à 120 µg/m³. Précédemment, les années 1995, 2003, 2006 et 2018 ont été très défavorables pour l'exposition de la population à de fortes concentrations d'ozone. Au cours de ces années, plus de 60 % de la population a été exposée à plus de 25 jours avec des concentrations moyennes d'ozone sur 8 heures supérieures à 120 µg/m³. L'OMS fixe le seuil en dessous duquel on n'observe pas d'effets significatifs sur la santé à une concentration d'ozone maximale journalière pour la moyenne glissante sur 8 heures à 100 µg/m³. La valeur indicative de l'OMS, plus stricte que l'objectif européen à long terme, n'est respectée nulle part en Belgique en 2024.

7.2.2 AOT60

Un autre indicateur permettant d'estimer l'impact de concentrations élevées d'ozone sur la population est l'AOT60¹⁰. L'AOT60 est la somme annuelle des différences entre les maxima journaliers de la concentration moyenne sur 8 heures supérieurs à 120 µg/m³ et le seuil de 120 µg/m³. Au contraire de l'indicateur NET60, l'AOT60 tient donc également compte de l'ampleur et de la durée des dépassements et on peut dès lors parler de « surcharge » d'ozone. Lors de la préparation de la première directive sur l'ozone [2] et de la directive fixant les plafonds d'émission nationaux [1], un objectif à moyen terme de 5800 (µg/m³).heure

¹⁰AOT60 : Accumulated Ozone Exposure above a Threshold of 60 ppb (=120 µg/m³) by the maximum daily 8-hour mean.

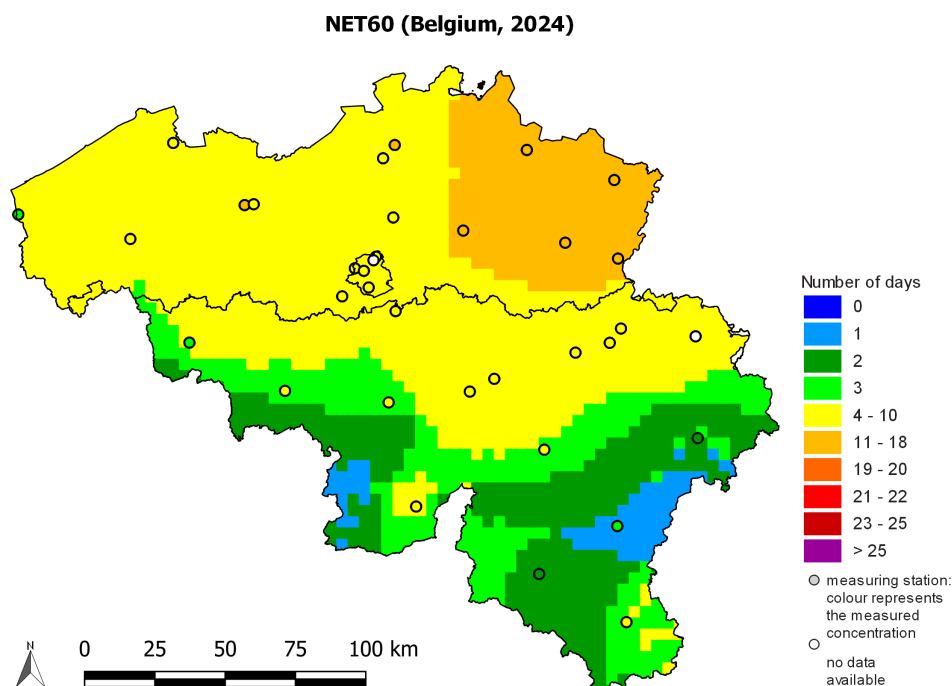


FIG. 28 : Distribution spatiale du nombre de jours où le maximum de la concentration moyenne d’ozone sur 8 heures $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 2024. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

avait été proposé pour 2010, ce qui correspond environ à un NET60 de 25 jours. L’objectif à long terme est de 0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).heure. L’indicateur AOT60 n’a pas été retenu dans la directive actuelle sur la qualité de l’air, bien qu’il soit un meilleur indicateur pour quantifier l’exposition de la population. La figure 32 présente la distribution spatiale de l’AOT60 en Belgique en 2024. Il est clair que la surcharge d’ozone est principalement localisée dans le nord du pays. La valeur la plus élevée, 1680 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h, a été atteinte dans la province de Limbourg. L’objectif à long terme de 0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h n’a été atteint nulle part en 2024.

7.3 Ozone et la végétation

Pour la végétation, l’exposition à l’ozone sur le long terme est plus significative que l’exposition aiguë. De manière générale, il est difficile de quantifier les dégâts occasionnés aux plantes par l’ozone. En effet, l’ozone occasionne surtout des dommages lorsqu’il est absorbé par la plante, mais les concentrations d’ozone dans l’air ne sont pas une mesure directe de l’absorption de l’ozone par celle-ci. De nombreux autres paramètres jouent un rôle : le taux d’humidité, la nature du sol, la phase de croissance de la plante,... L’Union européenne a défini un indicateur de surcharge pour la protection de la végétation : l’« AOT40 végétation » additionne ainsi les excédents par rapport au seuil de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de toutes les valeurs horaires entre 8 h et 20 h durant les mois de mai, juin, juillet (soit la saison de croissance). Cet indicateur est destiné à protéger les cultures et la végétation (semi)naturelle. Il existe également un indicateur de surcharge pour la protection des forêts. L’« AOT40 forêts » est calculé de la même manière, mais pour la période d’avril à septembre et uniquement pour les zones couvertes de forêts. Cet indicateur ne quantifie à nouveau que l’exposition à l’ozone et non l’absorption effective d’ozone par la végétation (et donc les dommages occasionnés).

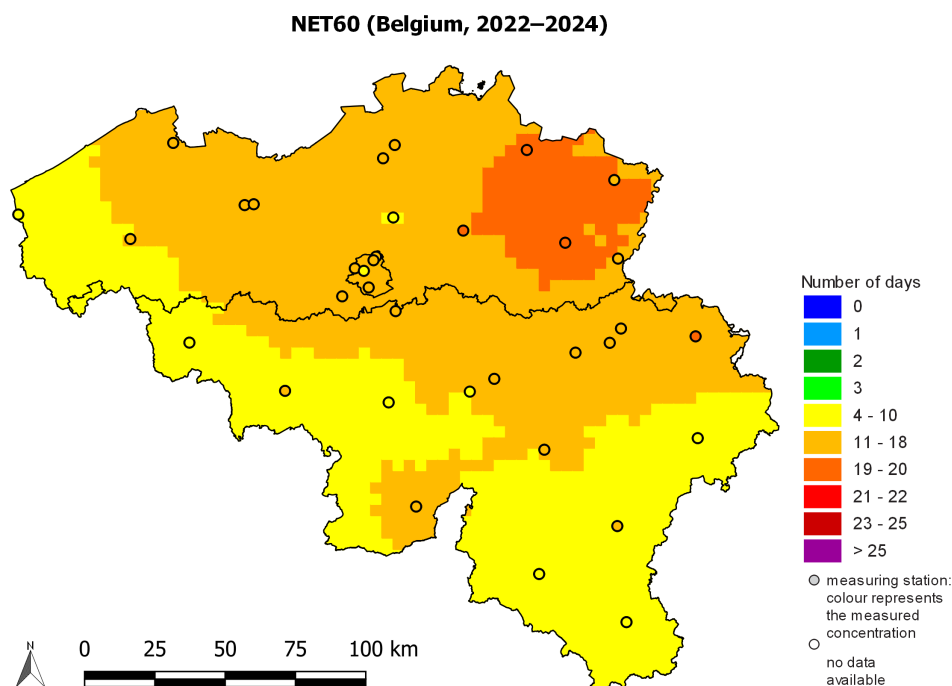


FIG. 29 : Distribution spatiale du NET60 en moyenne sur 2022, 2023 et 2024. « No data available » signifie que les données ne respectent pas les critères établis dans l'annexe VII de la directive 2008/50/CE pour l'agrégation des données de mesure. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

7.3.1 AOT40 végétation

En 2024, le maximum de l'AOT40 pour la végétation était inférieur à la valeur cible européenne de 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h partout en Belgique. La moyenne pondérée pour la végétation¹¹ en Belgique s'élevait à 7110 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h. Une valeur maximale de 11 363 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h a été enregistrée dans la province de Limbourg. 69,9 % de la surface de la Belgique couverte par de la végétation (hors forêt) a été exposée à une surcharge supérieure à l'objectif à long terme de 6000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h. Les figures 33 et 34 montrent la distribution spatiale de la surcharge pour la végétation en 2024 et la moyenne sur cinq ans, période 2020–2024, respectivement. Seules les zones avec végétation (hors forêts) sont reprises sur la carte. On peut observer que la surcharge la plus élevée est observée dans l'est de la Flandre et entre Liège et Bruxelles, la végétation de Flandre occidentale a subi les surcharges les plus faibles. La valeur cible européenne de 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h en moyenne sur cinq ans est respectée pour l'ensemble du pays.

La figure 35 montre l'évolution de la surcharge d'ozone pour la végétation en Belgique depuis 1990. Les années 1994, 2003, 2006 et 2018 se distinguent clairement comme étant des années au cours desquelles les concentrations d'ozone étaient défavorables pour la végétation. Durant ces années, le seuil de 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h est dépassé pour plus de la moitié de la surface avec végétation. En 2019, la moyenne sur cinq ans de l'AOT40 a dépassé pour la dernière fois (dans au moins une cellule de grille) cette valeur cible européenne de 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h. L'objectif à long terme de 6000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h a été dépassé chaque année, localement ou plus largement, en Belgique.

7.3.2 AOT40 forêts

La surcharge pour les forêts est calculée de la même manière que la surcharge pour la végétation, à la différence près que la période prise en compte est plus longue : d'avril à septembre. Aucun objectif ne

¹¹La valeur de l'AOT40 pour la végétation par cellule est pondérée par la fraction de végétation présente dans cette cellule. De cette manière, on attribue un plus grand poids dans la moyenne aux cellules où la végétation est plus importante.

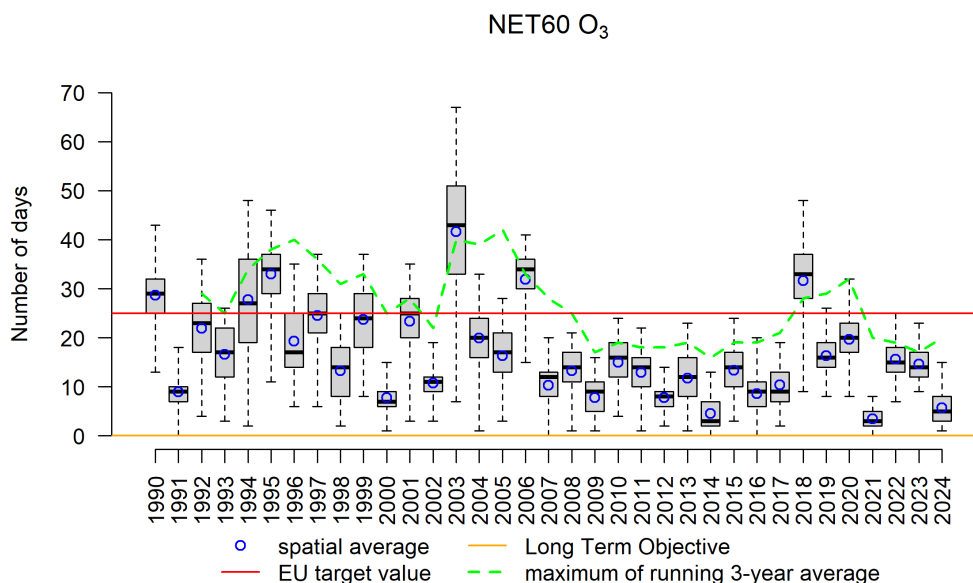


FIG. 30 : Diagramme en boîte du nombre de jours caractérisés par un maximum journalier des concentrations d’ozone en moyennes sur 8 heures $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Belgique durant la période 1990–2024. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. La ligne pointillée verte donne le maximum du nombre de dépassements moyenné sur 3 ans en Belgique. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

figure dans la directive actuelle concernant la surcharge pour les forêts. La précédente directive pour l’ozone prévoyait pourtant une valeur de référence de $20\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$, valeur plus stricte que la valeur cible de $18\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$ pour la protection de la végétation. Le dernier Mapping Manual de l’UNECE utilise également une valeur critique de $10\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$: il s’agit du niveau au-dessus duquel des effets défavorables directs peuvent être observés. La surcharge la plus élevée pour les forêts a été observée dans le sud du pays (figure 36). 32,0 % des forêts belges a subi une surcharge supérieure au niveau critique de l’UNECE de $10\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$, la valeur de référence de $20\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$ n’a été dépassée nulle part.

7.4 Moyenne annuelle d’ozone

Les concentrations moyennes annuelles d’ozone sont une mesure de la concentration de fond. La figure 37 présente la distribution spatiale sur la Belgique des concentrations moyennes annuelles d’ozone en 2024. L’annexe D présente l’incertitude de la méthode d’interpolation relative à la carte de la concentration moyenne annuelle. On peut constater que les valeurs d’ozone sont en général plus élevées dans les zones rurales. Cela provient du fait qu’une plus grande quantité d’ozone est détruite par le NO dans les zones urbaines en raison des émissions plus élevées de NO_x . Plus loin des sources d’émission de NO_x , dans les zones rurales, la quantité d’ozone détruite est moindre. La relation entre la moyenne annuelle des concentrations d’ozone et la densité de population est inverse à celle que l’on observe pour les PM ou NO_2 . Les concentrations annuelles moyennes d’ozone sont plus faibles dans les cellules de la grille présentant les densités de population les plus élevées. Une comparaison entre 2024 et la période 2019–2023 ne montre guère d’évolution dans cette relation (figure 38). Les concentrations annuelles moyennes en 2024 s’élevaient à $48,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $52,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $51,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement pour Bruxelles, la Flandre et la Wallonie. La moyenne pour la Belgique est quant à elle de $51,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentration d’ozone moyenne annuelle pondérée en fonction de la population en Belgique est comprise entre la moyenne flamande et la moyenne bruxelloise, soit $49,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cela montre également la relation inverse entre la densité de population et la concentration d’ozone.

Les valeurs de la figure 37 peuvent également être représentées par un diagramme en boîte¹². La figure 39

¹²Pour l’interprétation des diagrammes en boîte, voir l’annexe C

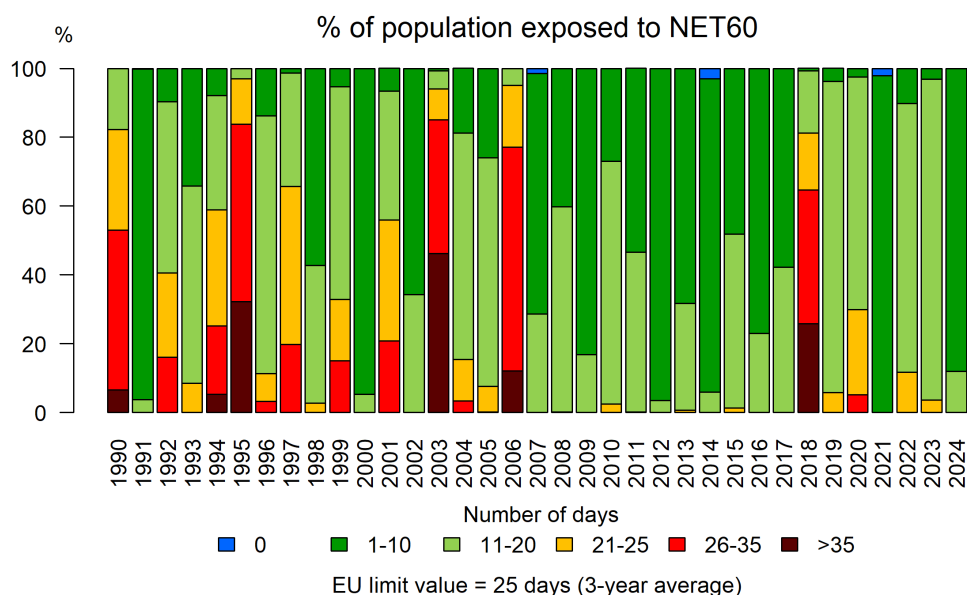


FIG. 31 : Evolution de l'exposition de la population à un nombre de jours avec un max 8h > 120 µg/m³ sur base de la technique d'interpolation RIO.

reprend les valeurs interpolées pour 2024 et les années précédentes depuis 1990, et montre l'évolution de la valeur maximale, de la moyenne, de la médiane, et du minimum. Entre 1990 et 2000, une tendance à la hausse des concentrations moyennes annuelles d'ozone est observée. À partir de 2000 et jusqu'en 2012, les moyennes se stabilisent avec des valeurs moyennes de 45 µg/m³. Depuis 2013, une nouvelle augmentation a été observée, à l'exception de l'année 2021 exceptionnellement défavorable à la formation d'ozone.

7.5 Évolution de la tendance pour les classes de concentrations d'O₃

Afin d'établir la tendance à long terme des concentrations d'ozone, il est important de les subdiviser en plusieurs 'classes de concentrations' ou centiles. En Belgique, les classes de concentrations de 40–50 µg/m³, qui correspondent à peu près au 50^{ème} centile, sont représentatives de la concentration de fond, alors que les pics de concentration correspondent aux concentrations supérieures à 180 µg/m³ (99,9^{ème} centile). L'évolution des deux classes peut être très différente.

Pour chaque cellule de la grille RIO, les 1^{er}, 10^{ème}, 50^{ème}, 90^{ème}, 95^{ème}, 99^{ème} et 99,9^{ème} centiles ont été calculés sur base des valeurs horaires de concentrations d'ozone pour les périodes 1990–1999 et 2015–2024. Ensuite, les différences entre ces deux périodes ont été calculées pour les différents centiles. la figure 40 présente cette évolution en fonction des centiles durant la période 2015–2024. On peut voir clairement sur cette figure que les concentrations entre le 10^{ème} au 90^{ème} centile, ont augmenté durant la période 2015–2024 par rapport à la période 1990–1999, jusqu'à parfois près de 20 µg/m³. À l'inverse, les concentrations plus élevées, représentées par le 99^{ème} et le 99,9^{ème} centile, ont baissé en certains endroits de plus de 35 µg/m³. La tendance générale –hausse des concentrations de fond et diminution des pics d'ozone– est comparable aux tendances observées dans le réseau du Programme Européen de Monitoring et d'Evaluation EMEP [11].

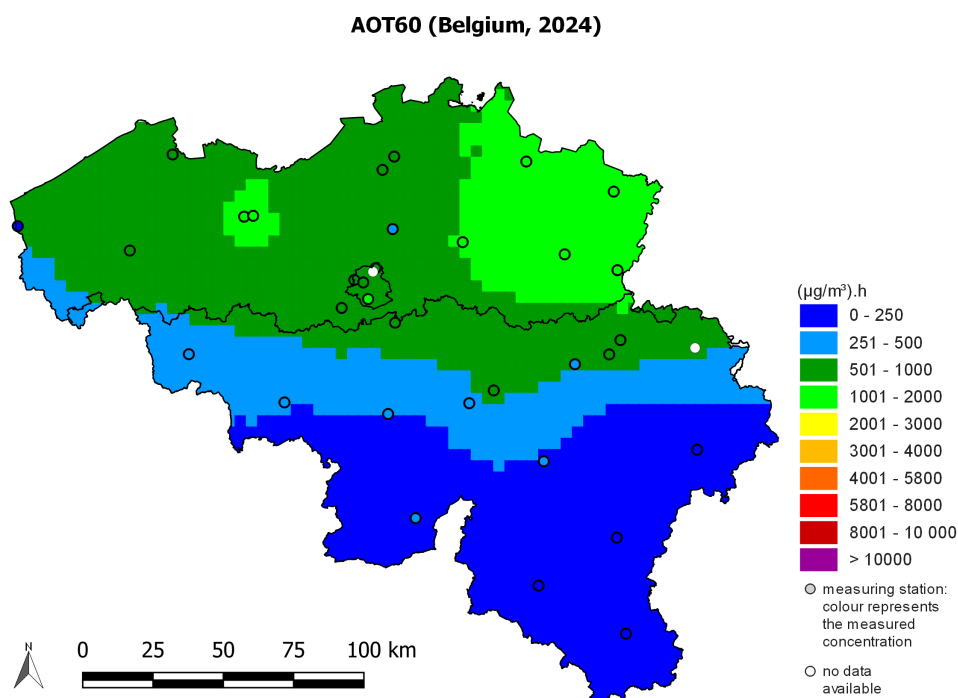


FIG. 32 : Distribution spatiale de la surcharge d’ozone (AOT60) en 2024. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

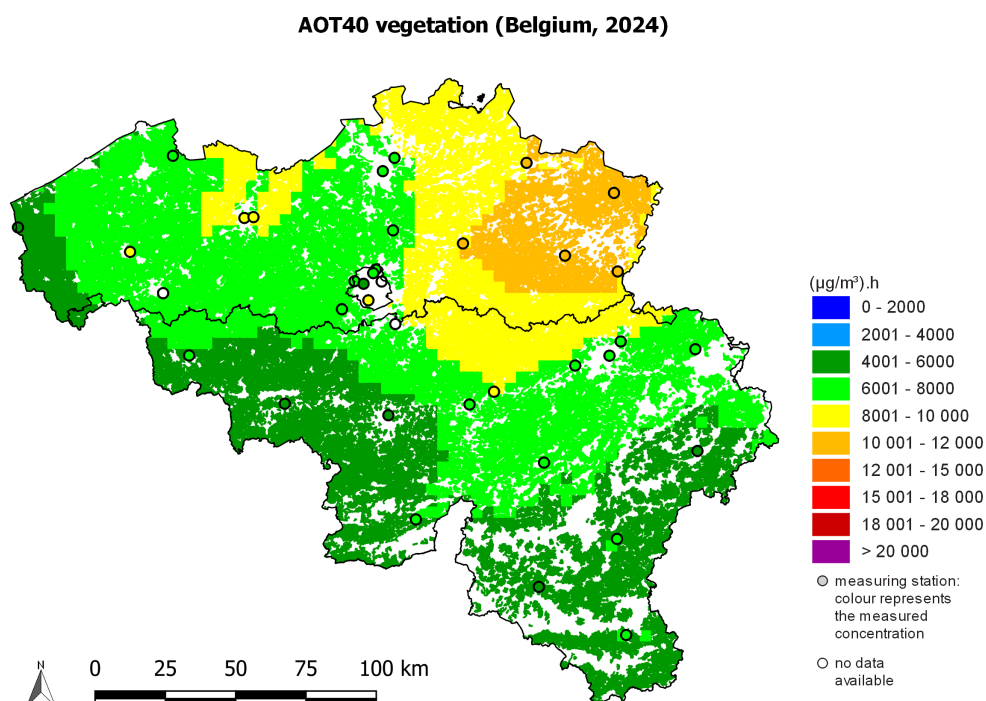


FIG. 33 : Distribution spatiale de la surcharge pour la végétation (AOT40 végétation), 2024. « No data available » signifie que les données ne respectent pas les critères établis dans l’annexe VII de la directive 2008/50/CE pour l’agrégation des données de mesure. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

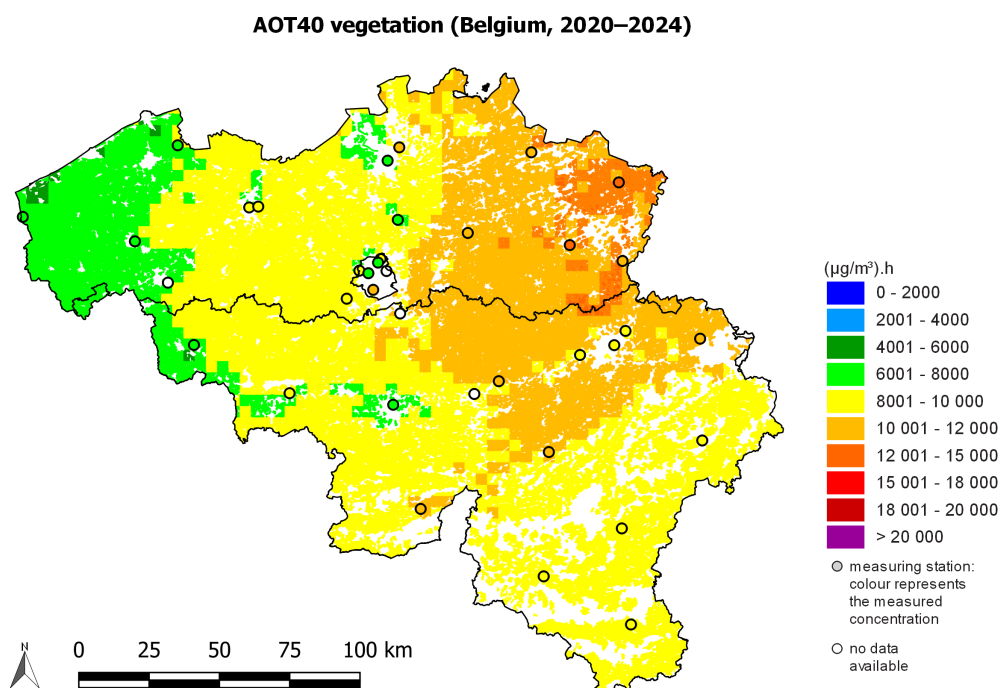


FIG. 34 : Distribution spatiale de la surcharge pour la végétation (AOT40 végétation), en moyenne sur 5 ans pour 2020–2024. « No data available » signifie que les données ne respectent pas les critères établis dans l'annexe VII de la directive 2008/50/CE pour l'agrégation des données de mesure. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

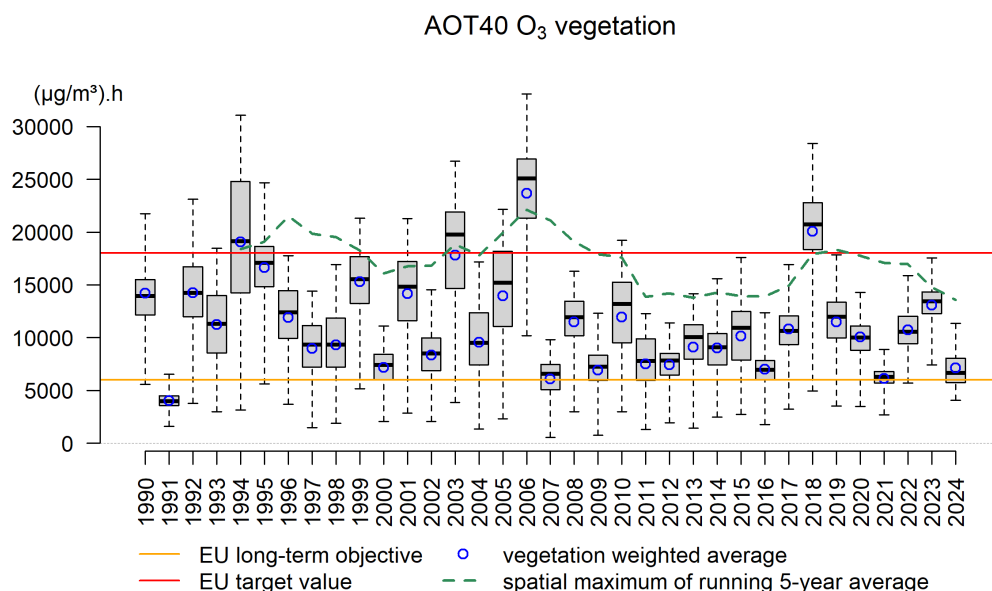


FIG. 35 : Diagramme en boîte de la surcharge pour la végétation (AOT40) en Belgique (1990–2024). Les moyennes pondérées en fonction de la végétation pour la Belgique sont représentées par les cercles bleus. La ligne pointillée verte indique le maximum spatial de la moyenne sur cinq ans de l'AOT40. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

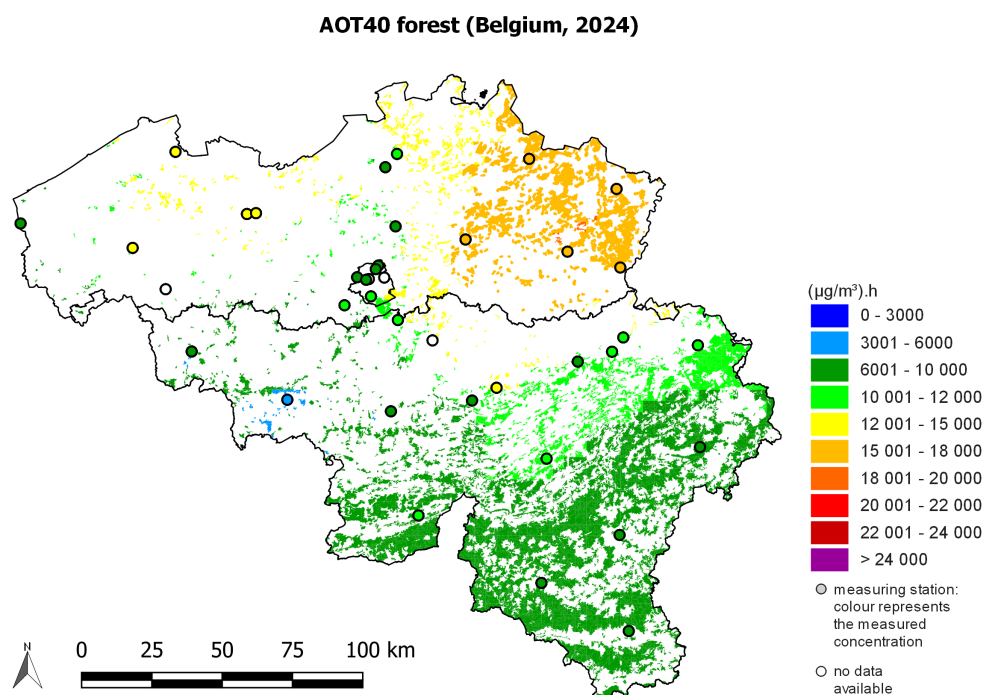


FIG. 36 : Distribution spatiale de la surcharge de zone pour les forêts (AOT40 forêts) en 2024. « No data available » signifie que les données ne respectent pas les critères établis dans l'annexe VII de la directive 2008/50/CE pour l'agrégation des données de mesure. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

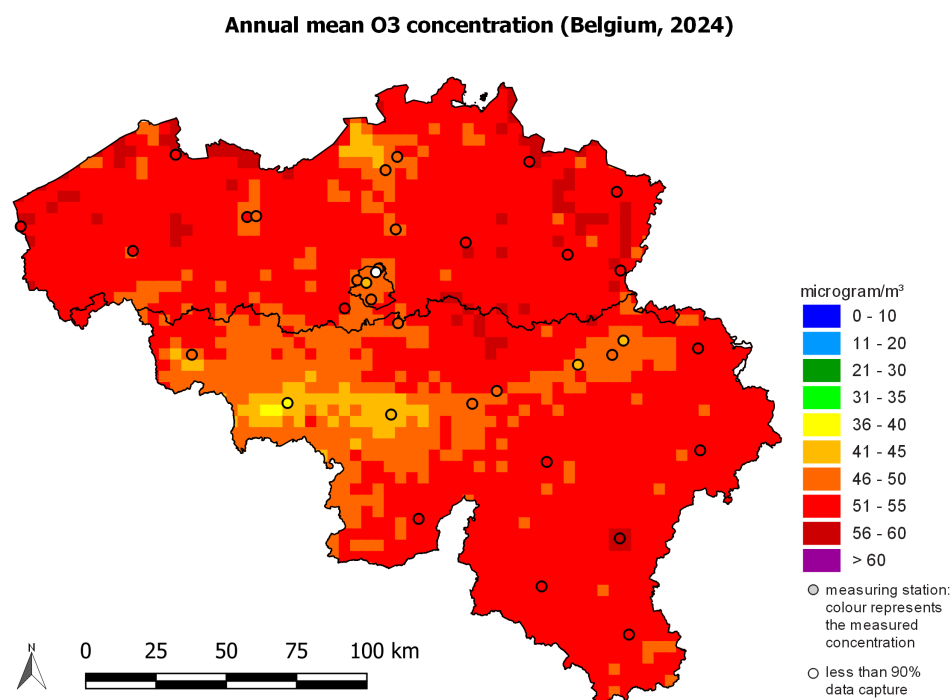


FIG. 37 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle d'O₃ en Belgique en 2024. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

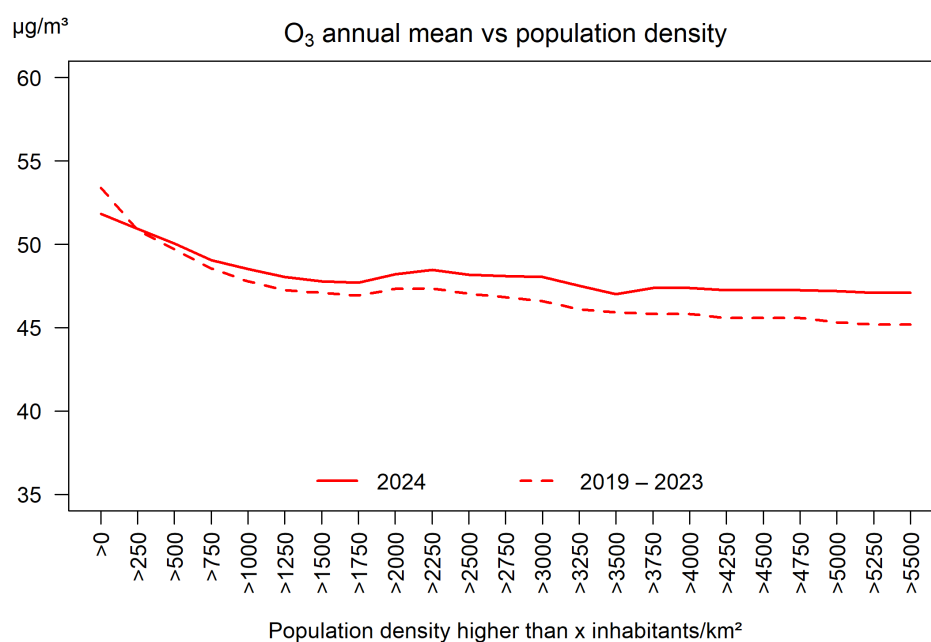


FIG. 38 : Relation entre les concentrations moyennes annuelles interpolées d'O₃ sur base de la technique d'interpolation RIO et la densité de la population (habitants/km²).

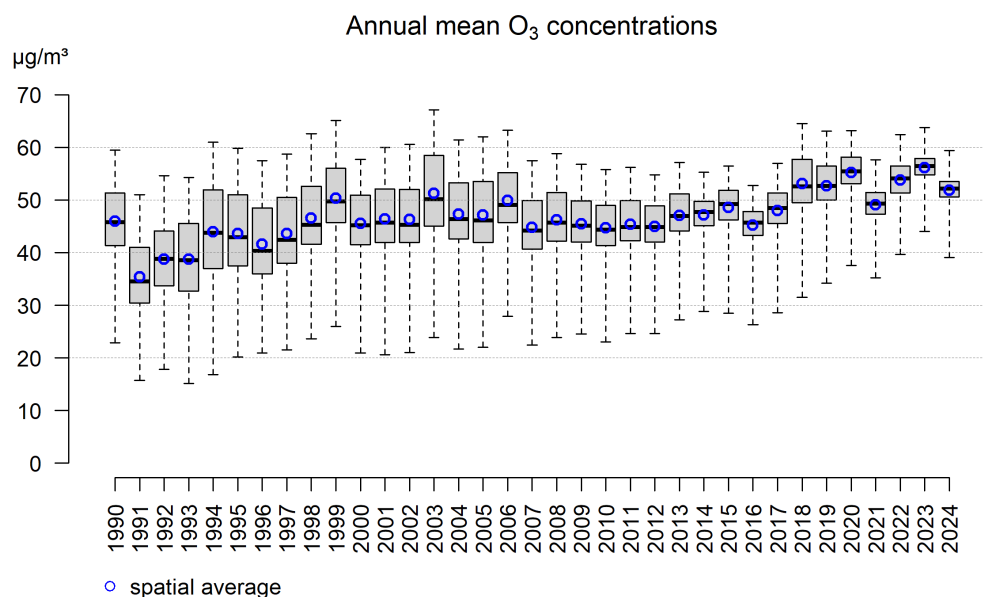


FIG. 39 : Diagramme en boîte des concentrations moyennes d'O₃ sur la période 1990–2024. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

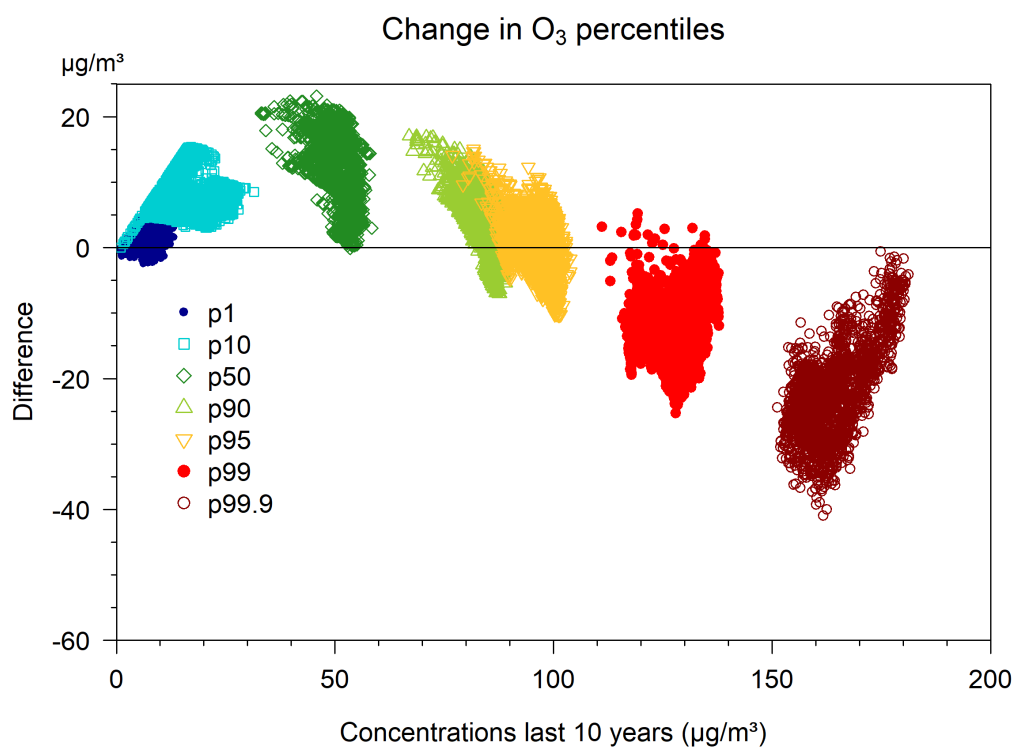


FIG. 40 : Evolution (différence entre les classes de concentrations) des centiles d'O₃ entre la période 1990–1999 et la période 2015–2024 en fonction des valeurs des centiles de la période 2015–2024 pour toutes les cellules de la grille RIO. Les données ont été générées sur base de la technique d'interpolation RIO. Les différentes couleurs indiquent les valeurs des centiles.

8 Conclusions

Ce rapport annuel donne un aperçu de la qualité de l'air en Belgique en 2024, et plus particulièrement de la répartition spatiale des concentrations des quatre principaux polluants (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 et O_3) ainsi que du BC et de l'évolution temporelle des différents indicateurs annuels.

De manière générale, les concentrations et le nombre de dépassements ont clairement diminué depuis le début des mesures de qualité de l'air, à l'exception notable de la concentration moyenne annuelle d'ozone. Une amélioration de la qualité de l'air est également observée à moyen terme. La synthèse du tableau 1 montre que pour les particules fines et le dioxyde d'azote tous les indicateurs sont inférieurs en 2024 à la moyenne sur les dix années précédentes. En raison de la pandémie de COVID-19 et des mesures de prévention des infections des divers indicateurs pour les PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, BC et NO_2 montrent un minimum en 2020 suivi d'une augmentation en 2021 et 2022. En 2023 et 2024, les concentrations sont à nouveau inférieures à celles de 2020.

Les principales exceptions aux tendances générales ci-dessus sont les indicateurs pour l'ozone. L'ozone est un polluant secondaire dont les concentrations dépendent fortement de la combinaison entre les émissions ou concentrations d'autres polluants et les conditions météorologiques. Les indicateurs de surcharge d'ozone ne montrent aucune tendance générale.

2024 a été une année favorable avec peu de pics d'ozone : seulement deux jours de dépassement du seuil d'information européen de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire ont été observés. Tous les objectifs à moyen terme pour l'ozone ont été atteints.

L'ensemble des valeurs limites européennes ont également été respectées pour les particules fines et le dioxyde d'azote. Par rapport aux valeurs guides de l'OMS plus strictes et reliées uniquement à l'impact sur la santé, on observe des dépassements pour tous les polluants. 24,4 % de la population est exposée à des concentrations moyennes annuelles de PM_{10} supérieures à la valeur guide de l'OMS, 49,1 % à des concentrations moyennes annuelles de NO_2 supérieures à la valeur guide de l'OMS, 87,0 % à des concentrations moyennes annuelles de $\text{PM}_{2.5}$ supérieures à la valeur guide de l'OMS, et l'ensemble de la population à des concentrations moyennes d'ozone sur 8 heures supérieures à la valeur guide de l'OMS.

En conclusion si la qualité de l'air en Belgique s'est nettement améliorée au cours des dernières décennies, la majorité de la population belge demeure encore trop exposée à la pollution de l'air. Ce qui entraîne un impact durable et significatif sur la santé publique. L'impact sur les écosystèmes reste également défavorable. Il est important de souligner que les résultats indiqués dans ce rapport sont basés sur des calculs avec la technique d'interpolation RIO, avec une résolution spatiale de $4 \times 4 \text{ km}^2$. Les résultats de ce rapport sont donc représentatifs pour des zones d'une superficie de 16 km^2 . Les concentrations peuvent être plus élevées à proximité des principales sources d'émission (autoroutes, zones résidentielles avec beaucoup de chauffage au bois, zones industrielles, etc.). Des études locales au cas par cas doivent être effectuées afin de distinguer les effets plus spécifiques, mais ceci sort du cadre de ce rapport qui vise à fournir une vue d'ensemble de la problématique et à cartographier la qualité de l'air.

Références

- [1] Directive 2001/81/ec of the european parliament and of the council of 23 october 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. *OJ*, L 309 :0022–0030, 2001.
- [2] Directive 2002/3/ec of the european parliament and of the council of 12 february 2002 relating to ozone in ambient air. *OJ*, L 067 :0014–0030, 2002.
- [3] Directive 2008/50/ec of the european parliament and of the council of 21 may 2008 on ambient air quality and cleaner air for europe. *OJ*, L 152 :1–44, 2008.
- [4] Directive 2024/2881 of the european parliament and of the council of 23 october 2024 on ambient air quality and cleaner air for europe (recast). *OJ*, L series :1–70, 2024.
- [5] D. C. Carslaw and K. Ropkins. *openair — An R package for air quality data analysis*, 2012.
- [6] J. Hooyberghs, C. Mensink, G. Dumont, and F. Fierens. Spatial interpolation of ambient ozone concentrations from sparse monitoring points in belgium. *J. Environ. Monit.*, 8 :1129–1135, 2006. doi : 10.1039/B612607N. URL <http://dx.doi.org/10.1039/B612607N>.
- [7] IRCEL. Het effect van de covid-19 maatregelen op de luchtkwaliteit in België een inschatting met een random forest model. pages 1–43, 2020.
- [8] S. Janssen, G. Dumont, F. Fierens, and C. Mensink. Spatial interpolation of air pollution measurements using corine land cover data. *Atmospheric Environment*, 42(20) :4884–4903, 2008. ISSN 1352-2310. doi : <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.043>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008001829>.
- [9] QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association, 2021. URL <https://www.qgis.org>.
- [10] R Core Team. *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL <https://www.R-project.org/>.
- [11] K. Tørseth, W. Aas, K. Breivik, A. Fjaeraa, M. Fiebig, A. Hjellbrekke, C. Lund Myhre, S. Solberg, and K. Yttri. Introduction to the european monitoring and evaluation programme (emep) and observed atmospheric composition change during 1972–2009. *ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS*, 12 :5447–5481, 06 2012. doi : 10.5194/acp-12-5447-2012.
- [12] VMM. Chemkar pm₁₀ : chemische karakterisatie van fijn stof in vlaanderen, 2006–2007. pages 1–168, 2009.
- [13] VMM. Chemkar pm₁₀ ‘hotspots’, chemische karakterisatie van fijn stof in vlaanderen, 2008–2009. pages 1–130, 2010.
- [14] WHO. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Executive summary*. World Health Organization, 2021.

9 Annexe A : Stations de mesure

Le tableau ci-dessous dresse la liste des stations dont les mesures figurent sur les cartes de qualité de l'air de ce rapport. Les coches indiquent quels polluants sont mesurés dans les stations de surveillance.

Code	Localisation	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	BC	SO ₂
40AL02	DOEL (ENGELSESTEENWEG)	✓	✓				
40AL03	BEVEREN	✓	✓				
40AL04	BEVEREN	✓	✓			✓	
40AL05	KALLO (SLUIS KALLO)	✓	✓			✓	
40AT44	ORDAMSTRAAT				✓		✓
40AT83	BERENDRECHT	✓	✓		✓	✓	
40BV16	BEVEREN (TOLPLEIN)	✓	✓		✓	✓	✓
40EG05	EVERGEM (RIEME)	✓	✓				
40G100	SINT-KRUIS-WINKEL (TERDONKPLEIN)	✓	✓				
40GK11	GENK	✓	✓				
40GK37	GENK (ETIENE FABRYLAAN)	✓	✓				
40GN99	GENT (EILANDERSKAAI)	✓	✓		✓	✓	✓
40HB23	HOBOKEN	✓	✓				✓
40HK07	HEMIKSEM	✓	✓				
40LD02	LAAKDAL - GEEL				✓		
40LM07	LOMMEL						✓
40MN01	MENEN	✓	✓				
40OB01	OOSTROZEBEKE	✓	✓				
40R822	ANTWERPEN (HAVEN)				✓		✓
40R891	ANTWERPEN (HAVEN)				✓		✓
40R892	KALLO (SLUIS KALLO)				✓		✓
40R897	ANTWERPEN (HAVEN)				✓		✓
40RL18	ROESELARE (REGENBEEKSTRAAT)	✓	✓		✓	✓	✓
40SA04	HOEVENEN	✓	✓		✓		
40SA08	STABROEK				✓		
40SZ05	STEENOKKERZEEL	✓	✓		✓	✓	
40WZ02	MOL (WEZEL)						✓
40ZB07	ZEEBRUGGE	✓	✓		✓	✓	
41B001	BRUSSEL (KUNST-WET)				✓		
41B004	BRUSSEL (SINT-KATELIJNE)				✓		
41B006	BRUSSEL (EU-PARLEMENT)				✓		
41B008	BRUSSEL (BELLIARD)				✓		
41B011	SINT-AGATHA-BERCHEM	✓	✓	✓	✓		
41BUL1	BRUSSEL (ZUIDLAAN)				✓		
41CHA1	GANSHOREN (KEIZER-KAREL)				✓		
41MEU1	MUEDON	✓	✓	✓	✓		
41N043	HAREN	✓	✓	✓	✓		✓
41R001	SINT-JANS-MOLENBEEK	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41R002	ELSENE				✓	✓	
41R012	UKKEL	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41REG1	BRUSSEL (REGENTLAAN)	✓	✓		✓		
41VBX1	BRUSSEL (GROOT EILAND)				✓		
41VBX2	BRUSSEL (HUIDEVETTERSTRAAT)				✓		
41VBX3	BRUSSEL (LAKENSESTRAAT)				✓		
42AL09	ANTWERPEN (VAN AVERBEKELAAN)	✓	✓				
42AL10	ANTWERPEN (BLANCEFLOERLAAN)	✓	✓				
42DU07	ANTWERPEN (DEURNE)	✓	✓		✓	✓	
42HH08	HOUTHALEN-HELCHTEREN	✓	✓				
42M802	ANTWERPEN LUCHTBAL	✓	✓		✓		
42MK02	ANTWERPEN (MERKSEM)	✓	✓		✓	✓	
42N016	DESSEL	✓	✓	✓	✓		
42N027	BREE			✓	✓		

Code	Localisation	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	BC	SO ₂
42N035	AARSCHOT	✓	✓	✓	✓		
42N040	SINT-PIETERS-LEEUEW			✓	✓		
42N046	GELLIK			✓			
42N047	HASSELT	✓	✓	✓	✓	✓	
42N054	LANDEN	✓	✓		✓		
42R020	VILVOORDE	✓	✓		✓		
42R801	ANTWERPEN	✓	✓	✓	✓	✓	
42R802	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R803	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R804	BORGERHOUT (RING)	✓	✓		✓	✓	
42R805	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R806	ANTWERPEN (MAERLANT)				✓		
42R811	SCHOTEN			✓			
42R817	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R818	ANTWERPEN	✓	✓		✓		
42R823	BEVEREN-WAAS	✓	✓				
42R830	DOEL				✓		
42R831	BERENDRECHT				✓		
42R834	BOOM	✓	✓				
42R842	MECHELEN (HENDRIK SPEECQVEST)	✓	✓	✓	✓	✓	
42ZD01	ZWIJNDRECHT (BINNENPLEIN)	✓	✓				
42ZD08	ZWIJNDRECHT (NEERSTRAAT)	✓	✓				
43H201	SAINT NICOLAS	✓	✓				
43M204	ANGLEUR	✓	✓				
43N060	HAVINNES	✓	✓	✓	✓		✓
43N064	RIXENSART	✓	✓	✓	✓		
43N066	EUPEN			✓	✓		✓
43N067	MEMBACH	✓	✓				
43N070	MONS	✓	✓	✓	✓	✓	
43N073	VEZIN	✓	✓	✓	✓		
43N085	VIELSALM	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43N093	SINSIN	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43N100	DOORBES	✓	✓	✓	✓		✓
43N113	SAINT-ODE	✓	✓	✓	✓		
43N121	OFFAGNE	✓	✓	✓	✓		
43N132	HABAY-LA-NEUVE	✓	✓	✓	✓		✓
43R202	LIEGE (AV. M. DESTHEY)	✓	✓		✓	✓	
43R221	LUIK	✓	✓	✓	✓	✓	
43R222	LUIK	✓	✓	✓	✓	✓	✓
43R223	JEMEPEPE	✓	✓		✓		✓
43R240	ENGIS	✓	✓	✓	✓		✓
43R401	MUR	✓	✓	✓	✓	✓	
44M705	ROESELARE	✓	✓	✓	✓		
44N012	MOERKERKE	✓	✓	✓			
44N029	HOUTEM	✓	✓	✓	✓	✓	
44N052	ZWEVEGEM	✓	✓		✓		
44R701	GENT	✓	✓	✓	✓	✓	
44R702	GENT	✓	✓		✓	✓	
44R703	GENT					✓	
44R710	DESTELBERGEN	✓	✓	✓			
44R731	EVERGEM				✓		
44R740	SINT-KRUIS-WINKEL	✓	✓		✓		
44R750	ZELZATE	✓	✓		✓	✓	
44RL01	ROESELARE (BRUGSESTEENWEG)	✓	✓				
45R501	CHARLEROI	✓	✓		✓		
45R502	LODELINSART	✓	✓	✓	✓		
45R503	CHARLEROI (PARC)	✓	✓		✓	✓	

Code	Localisation	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	BC	SO ₂
45R510	CHATELINEAU	✓	✓				✓
45R511	MARCINELLE	✓	✓				
45R512	MARCHIENNE AU PONT	✓	✓		✓	✓	✓
47E007	SINT-PIETERS-LEEUEW				✓		
47E008	GRIMBERGEN				✓		
47E009	ZEMST				✓		
47E013	VORST				✓		
47E703	OOST-EEKLO				✓		
47E704	WACHTEBEKE				✓		
47E714	DUDZELE				✓		
47E715	ZUIENKERKE				✓		
47E716	MARIAKERKE				✓		
47E814	HAM (GENEBOSSTRAAT)				✓		
48R215	HERMALLE	✓	✓		✓	✓	
48R236	LUIK (AEROPORT 2)	✓	✓		✓		
48R237	LUIK (AEROPORT 1)	✓	✓		✓	✓	
48R515	CHARLEROI (AEROPORT 1)	✓	✓		✓		
48R516	CHARLEROI (AEROPORT 2)	✓	✓		✓		

10 Annexe B : Relevés annuels

Spatial maximum of the daily mean PM₁₀ concentrations in 2024

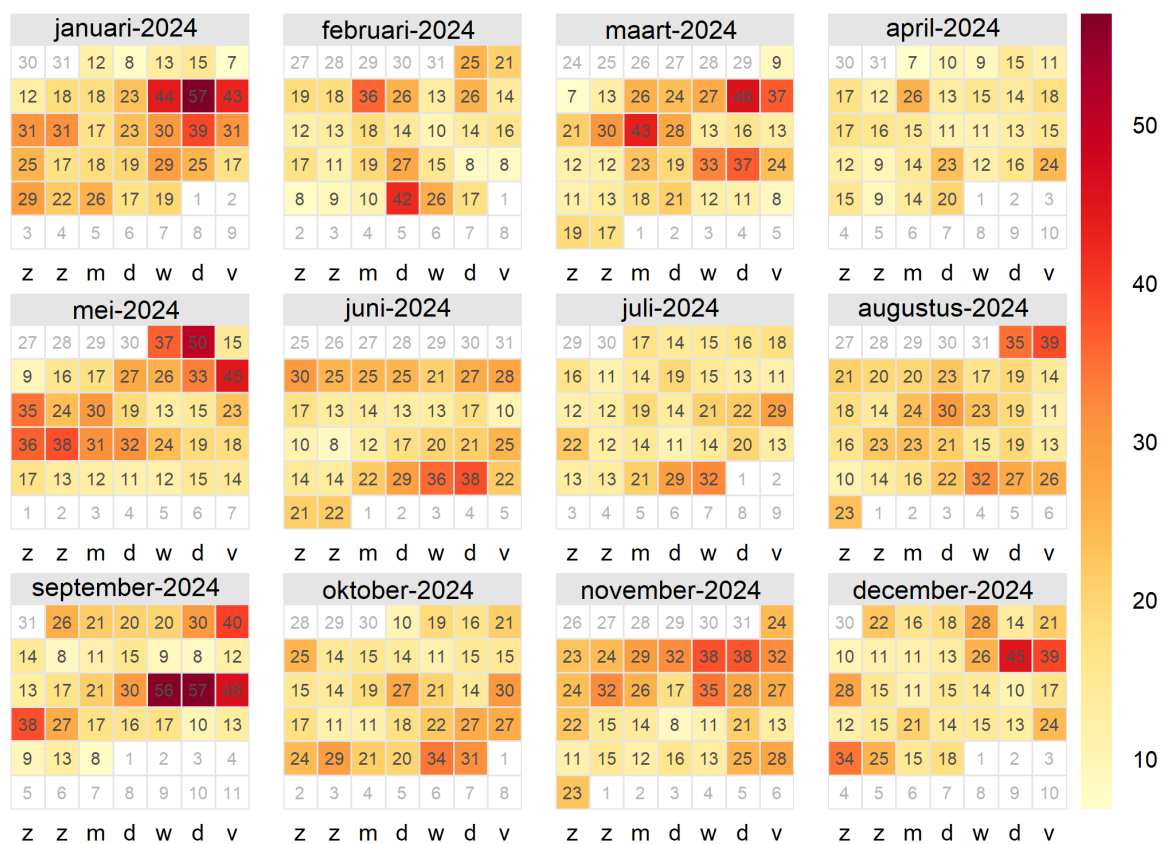


FIG. 41 : Maximum (sur la Belgique) de la moyenne journalière de PM₁₀ en 2024.

Spatial maximum of the daily mean PM_{2.5} concentrations in 2024

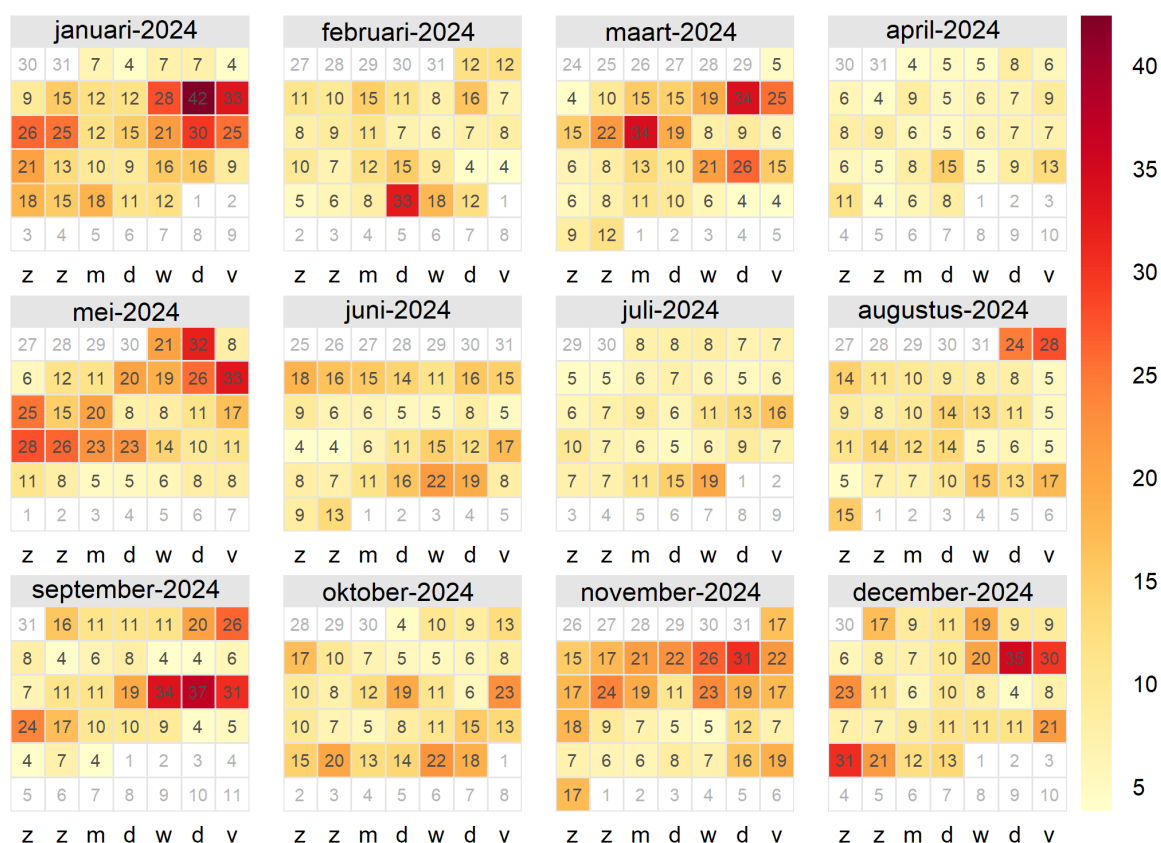


FIG. 42 : Maximum (sur la Belgique) de la moyenne journalière de PM_{2.5} en 2024.

Spatial maximum of the highest hourly NO₂ concentrations per day in 2024

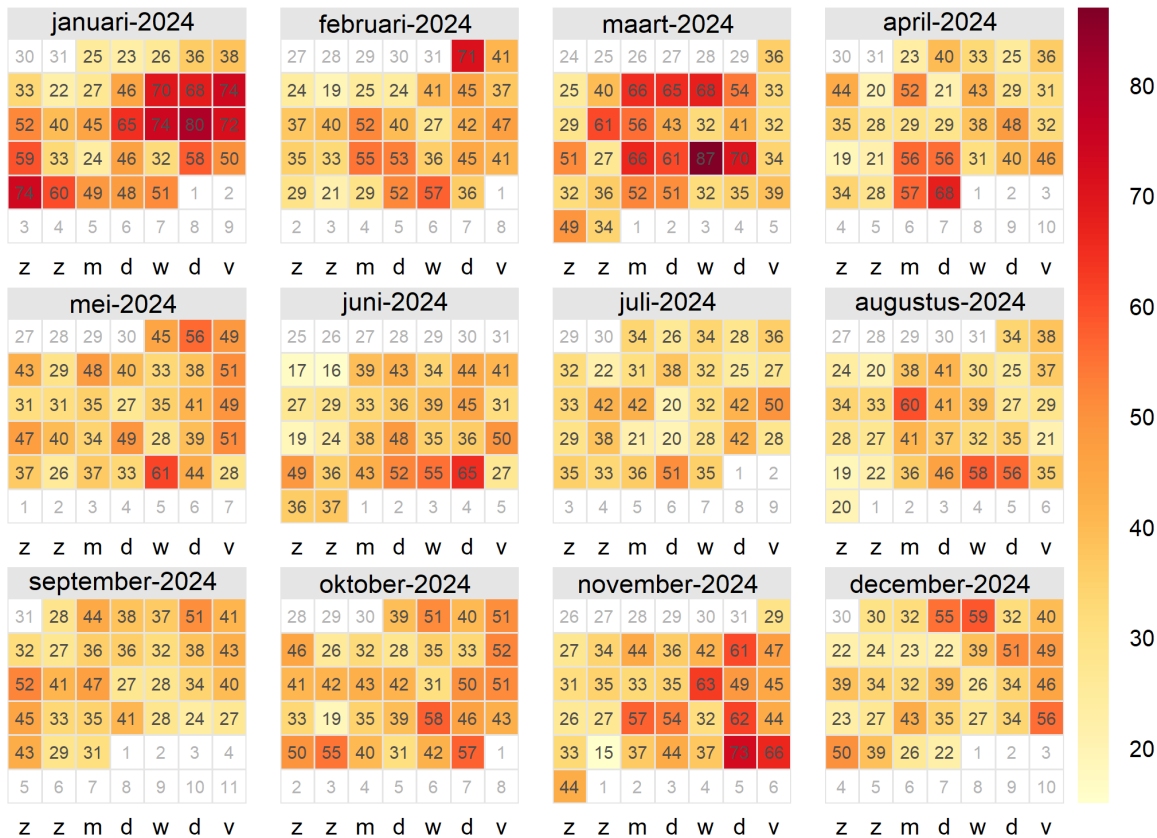


FIG. 43 : Maximum spatial des concentrations horaires maximales de NO₂ par jour en 2024.

Spatial maximum of the highest hourly O₃ concentrations per day in 2024

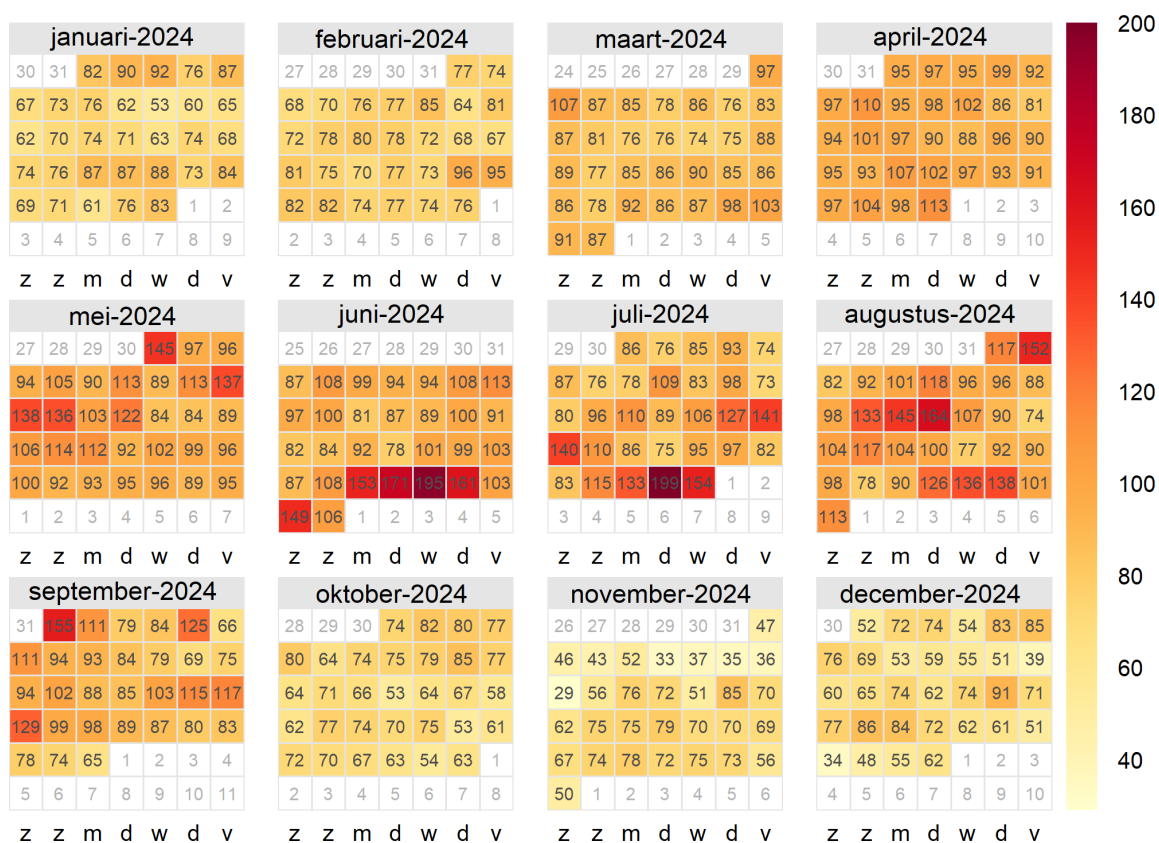


FIG. 44 : Maximum spatial des concentrations horaires maximales de O₃ par jour en 2024.

11 Annexe C : Interprétation des diagrammes en boîte

Un diagramme en boîte (« box plot ») est une représentation graphique permettant d'obtenir rapidement une vue globale de la distribution d'une série de données. Il présente les quartiles (soit les 25^{ème} et 75^{ème} centiles), la médiane (le 50^{ème} centile) et la valeur la plus élevée et la plus basse de la série. Le $x^{\text{ième}}$ centile est la valeur à laquelle x % des données lui sont inférieures, et $(100-x)$ % des données lui sont supérieures.

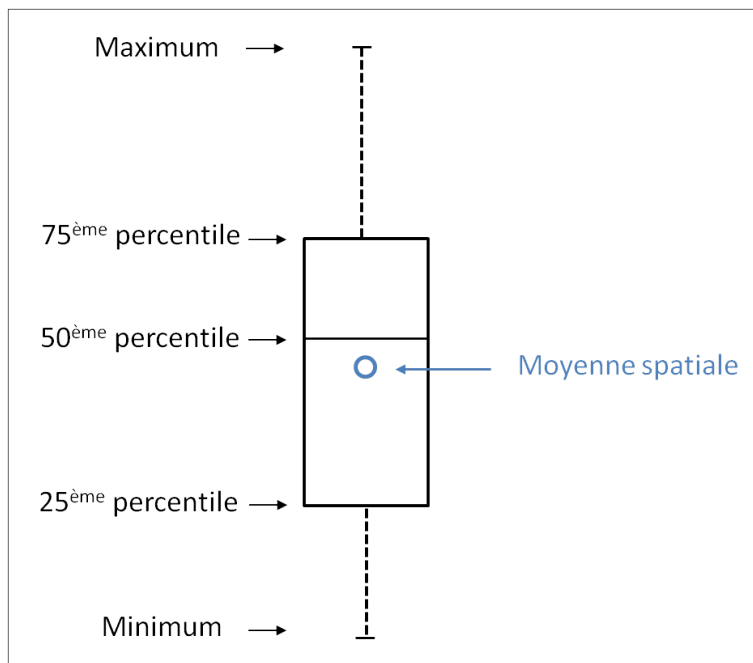


FIG. 45 : Présentation d'un diagramme en boîtes.

12 Annexe D : Cartes d'incertitudes

La valeur interpolée du RIO n'est pas une valeur absolument correcte mais est sujette à une certaine incertitude. D'une part, outre l'incertitude liée aux concentrations moyennes horaires ou journalières interpolées, l'agrégation en moyennes annuelles ou en dépassements journaliers est également génératrice d'incertitude. Dans la technique d'interpolation RIO, plusieurs aspects contribuent à l'incertitude entachant les concentrations interpolées :

1. Erreur liée aux valeurs de mesure : elle est indirectement prise en compte en raison étant donné que le variogramme utilisé dans le kriging (la méthode sous-jacente à la technique d'interpolation RIO) présente un effet « nugget » (c'est-à-dire qu'on ne présuppose pas une concentration mesurée identique en cas de distance nulle entre les stations de mesure).
2. Agglomération ou « clustering » des stations de mesure : un plus grand nombre de stations à proximité les unes des autres réduisent la précision de l'interpolation.
3. Distance par rapport aux stations de mesure : l'incertitude d'interpolation est plus grande à un endroit plus éloigné des stations de mesure.
4. Variation des mesures proprement dites : si les mesures prises à des endroits proches les uns des autres présentent une grande variation, l'incertitude d'interpolation est également plus grande.
5. Erreur par de-trending et re-trending : erreur commise en renormalisant les stations afin qu'elles aient toutes la même représentativité spatiale, ainsi que lors de l'exercice inverse après leur interpolation.

Une fois que l'incertitude liée aux concentrations moyennes horaires ou journalières interpolées a été déterminée, il faut également tenir compte, lors de l'agrégation, de :

1. L'autocorrélation temporelle des données, liée au fait que les concentrations d'aujourd'hui dépendent de celles d'hier, qui réduit l'information disponible dans les données.
2. La covariance entre les différentes cellules qui est représentée par un modèle spatial fixe au fil du temps (variogramme).

Une incertitude basée sur l'écart-type d'une distribution normale de probabilité est calculée pour les concentrations interpolées par la méthode RIO sur base des sources d'incertitude citées plus haut (voir cartes ci-dessous). Pour une distribution de probabilité normale, avoir une valeur x et une erreur de $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, signifie qu'il y a alors 68 % de chance que la valeur réelle soit comprise entre $(x - 5,0)$ et $(x + 5,0) \mu\text{g}/\text{m}^3$ (« erreur d'un sigma »), 95 % de chance que la valeur réelle soit comprise entre $(x - 10)$ et $(x + 10) \mu\text{g}/\text{m}^3$ (deux fois sigma), etc. Il est alors possible de calculer une probabilité de dépassement des valeurs limite européennes (probability of exceedance) sur base de la concentration interpolée, de l'incertitude calculée et de la valeur limite.

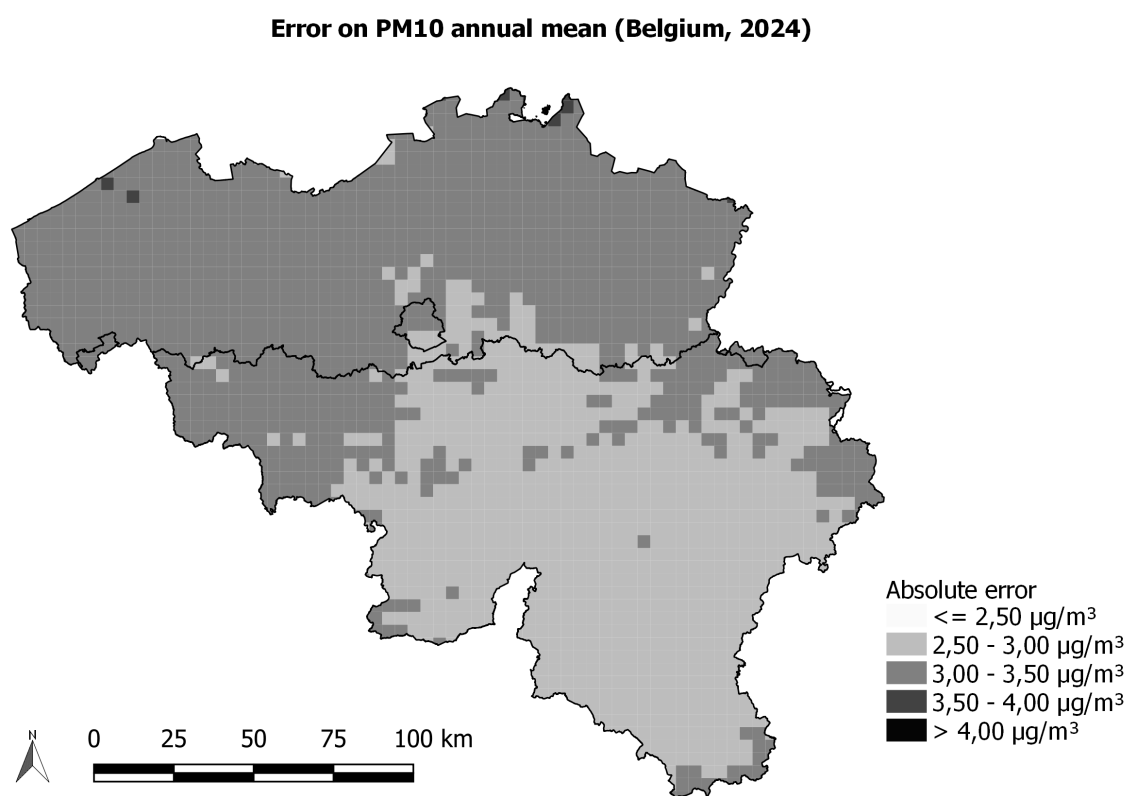


FIG. 46 : Distribution spatiale de l'erreur absolue ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour la concentration moyenne annuelle de PM_{10}

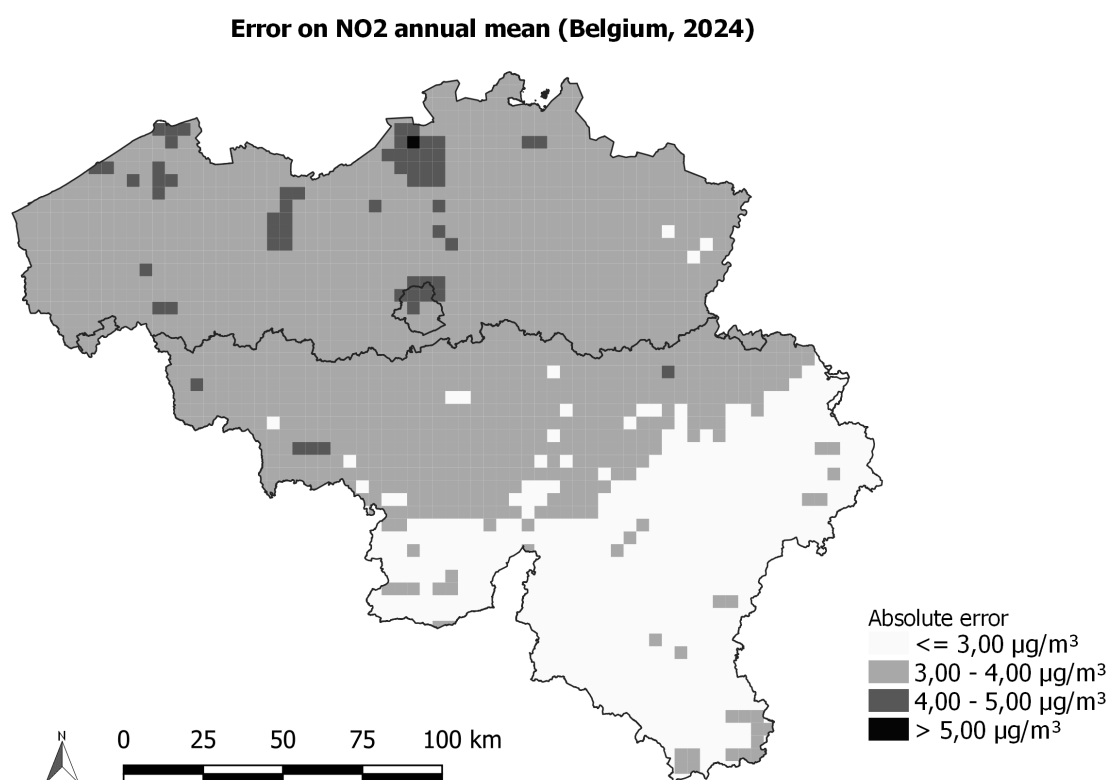


FIG. 47 : Distribution spatiale de l'erreur absolue ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour la concentration moyenne annuelle de NO_2 .

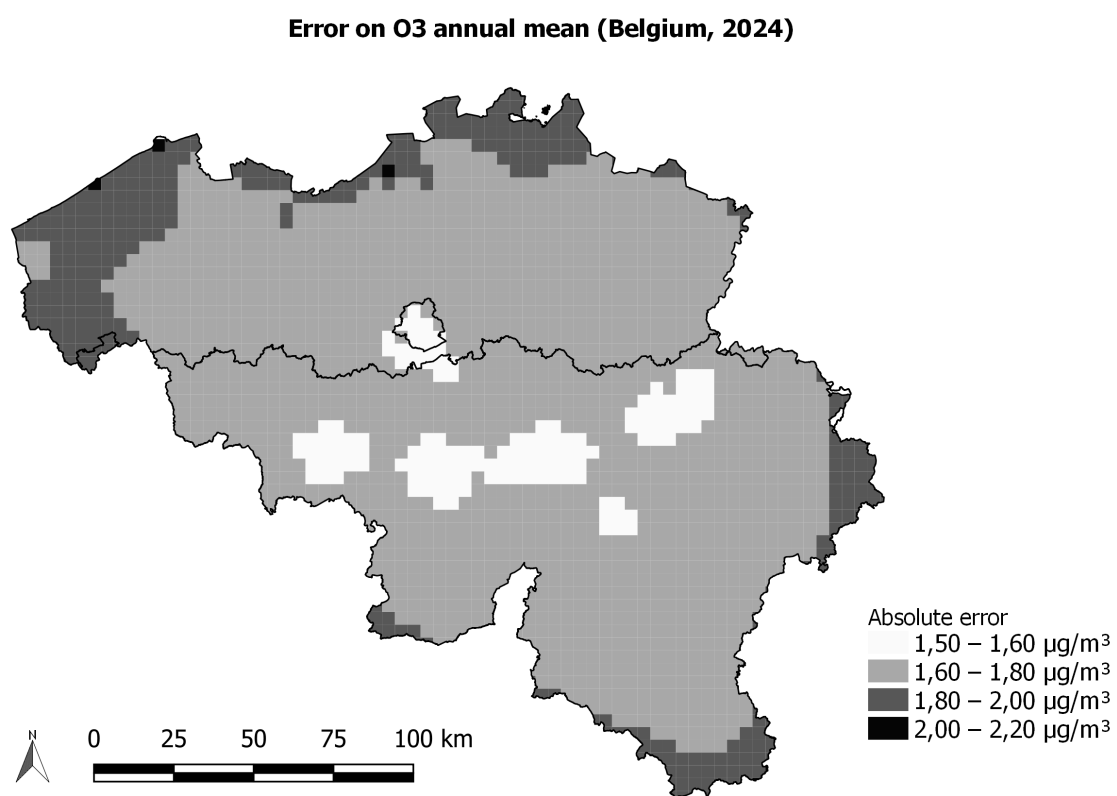


FIG. 48 : Distribution spatiale de l'erreur absolue ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour la concentration moyenne annuelle de O₃.