



Informing you on ambient air quality
in the Belgian Regions

RAPPORT ANNUEL 2021 de la qualité de l'air en Belgique

Description du document

Titre

Rapport annuel 2021 de la qualité de l'air en Belgique

Auteurs

Ce rapport a été réalisé grâce à la collaboration de tous les collègues d'IRCEL – CELINE Air : Frans Fierens, Charlotte Vanpoucke, Elke Trimpeneers, Roman Dumoulin, Philippe Maetz, Virginie Hutsemékers, Christophe Degrave

Date

8 février 2023

Contact

info@irceline.be

www.irceline.be

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	19
5.1	PM ₁₀	20
5.1.1	Stations de mesure PM ₁₀	20
5.1.2	Concentrations moyennes annuelles de PM ₁₀	20
5.1.3	Concentrations moyennes journalières de PM ₁₀	21
5.2	PM _{2.5}	25
5.2.1	Stations de mesure PM _{2.5}	25
5.2.2	Concentrations moyennes annuelles de PM _{2.5}	25
5.2.3	Indicateur d'exposition moyenne	25
5.3	Black Carbon (BC)	28
5.3.1	Stations de mesures BC	28
5.3.2	Concentrations moyennes annuelles en BC	28
6	Oxydes d'azote	30
6.1	Stations de mesure NO ₂	30
6.2	Concentrations moyennes annuelles de NO ₂	31
6.3	Valeurs horaires de NO ₂	32
7	Ozone	36
7.1	Stations de mesure de l'ozone	36
7.2	Ozone et l'impact sur la santé	36
7.2.1	NET60	36
7.2.2	AOT60	37
7.3	Ozone et la végétation	38
7.3.1	AOT40 végétation	39
7.3.2	AOT40 forêts	39
7.4	Moyenne annuelle d'ozone	40

7.5	Évolution de la tendance pour les classes de concentrations d'O ₃	41
8	Dioxyde de soufre	47
8.1	Stations de mesure de SO ₂	47
8.2	Moyennes horaires de SO ₂	47
8.3	Moyennes journalières de SO ₂	48
8.4	Moyennes annuelles de SO ₂	48
9	Conclusions	51
10	Annexe A : Stations de mesure	53
11	Annexe B : Relevé annuel des polluants atmosphériques	56
12	Annexe C : Interprétation des diagrammes en boîte	60
13	Annexe D : Cartes d'incertitudes	61

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...)

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 chapeauté par une couche d'air plus chaud, ce qui empêche les polluants de s'élever et entrave donc la dispersion verticale.

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

Globalement, la qualité de l'air ne s'est pas améliorée en 2021 comparativement à 2020. Pour les particules fines et le dioxyde d'azote, la diminution progressive que l'on observe depuis plusieurs années voire décennies n'est pas clairement visible en 2021. Une légère amélioration par rapport à 2020 est observée pour le dioxyde de soufre mais les diminutions de loin les plus marquantes sont observées pour l'ozone : certains indicateurs affichent les valeurs les plus basses depuis le début des mesures. Indéniablement, la pandémie de COVID-19 a également eu un impact sur l'évolution des concentrations en 2021 mais moins important qu'en 2020. Bien que les concentrations mesurées et modélisées pour le dioxyde d'azote et les particules soient plus élevées en 2021 qu'en 2020, elles restent toutefois en diminution par rapport à 2019.

Le tableau 1 ci-dessous présente les différents indicateurs de la qualité de l'air pour la Belgique en 2021 et les compare, via un code couleur, aux moyennes des 10 années précédentes : 2011–2020. Les chiffres sont basés sur des calculs utilisant la technique d'interpolation RIO, avec une résolution spatiale de $4 \times 4 \text{ km}^2$. Les chiffres présentés dans ce rapport sont donc représentatifs de zones de 4 km sur 4 km , ce qui signifie que les concentrations (ou le nombre de dépassements) peuvent être plus ou moins élevées plus localement. Pour les polluants qui sont fortement influencés par les émissions locales, comme le NO_2 provenant des émissions du trafic, les concentrations locales peuvent différer de manière significative des concentrations au niveau de la zone de $4 \times 4 \text{ km}^2$.

Pour les particules fines, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre, tous les indicateurs sont nettement inférieurs à la moyenne des dix années précédentes. Le minimum, la moyenne et le maximum des valeurs par maille de $4 \times 4 \text{ km}^2$ des indicateurs à long terme (moyennes annuelles) et à court terme (moyennes horaires et dépassements) sont significativement plus faibles. Seul le minimum pour le 4^{ème} maximum de la moyenne journalière pour SO_2 reste stable à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour ces trois polluants, les particules fines, le NO_2 et le SO_2 , il n'y a également plus aucun dépassement de la valeur limite ou de la valeur cible européenne pour les valeurs interpolées par zone de $4 \times 4 \text{ km}^2$. Pour les particules fines et le dioxyde d'azote, les valeurs recommandées par l'OMS sont toutefois dépassées dans plusieurs parties du pays. Pour l'ozone, tous les indicateurs annuels 2021 sont nettement inférieurs à la moyenne décennale précédente. Par contre les indicateurs pluri-annuels sont similaires ou nettement moins bons que la moyenne des dix dernières années, en raison de l'année 2020, particulièrement défavorable en matière d'ozone. Les objectifs à moyen terme pour la santé et la protection des forêts sont respectés. Les objectifs à long terme pour l'exposition à l'ozone continuent d'être dépassés.

Le tableau 2 montre le pourcentage de la population potentiellement exposée à des concentrations supérieures aux valeurs limites de l'UE, d'une part, et aux valeurs indicatives de l'OMS, d'autre part.

On peut conclure, sur la base de ces calculs, que personne en Belgique n'a été exposé à des dépassements des valeurs limites ou cibles européennes pour les particules fines, le dioxyde d'azote ou le dioxyde de soufre. L'exposition de la population est estimée sur la base des concentrations de qualité de l'air calculées par la technique d'interpolation RIO pour des mailles de $4 \times 4 \text{ km}^2$ et du nombre d'habitants correspondants dans ces mailles. Cette résolution spatiale relativement faible explique pourquoi personne n'a été exposé à des concentrations supérieures à la valeur limite NO_2 . En particulier pour les polluants comme le NO_2 , qui sont fortement influencés par la contribution des sources d'émission locales, il s'agit d'une sous-estimation.

Si l'on compare les indicateurs avec les valeurs indicatives établies par l'OMS plutôt qu'avec les valeurs limites de l'UE, la situation apparaît moins rassurante : 74,0 % de la population belge vit dans une zone où la concentration moyenne annuelle de PM_{10} dépasse la valeur indicative de l'OMS de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 98,8 % de la population belge vit dans une zone où la concentration moyenne annuelle de $\text{PM}_{2.5}$ dépasse la valeur indicative de l'OMS de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et 79,7 % de la population belge vit dans une zone où la concentration moyenne annuelle de NO_2 dépasse la valeur indicative de l'OMS de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour l'ozone, l'objectif à long terme d'aucun dépassement de la moyenne glissante sur 8h du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est pas respecté pour 95,5 % de la population. Par contre, l'objectif à moyen terme d'atteindre, en moyenne sur trois ans, 25 jours par an avec un dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne sur 8h) est respecté partout.

En conclusion, en 2021 en raison des conditions météorologiques particulières, les indicateurs pour l'ozone sont très faibles et les concentrations de dioxyde de soufre continuent de diminuer légèrement. Les concen-

trations de particules (PM_{10} et $PM_{2.5}$) et de dioxyde d'azote sont légèrement supérieures à celles de l'année 2020, année où la pandémie de COVID-19 a eu un impact important sur la qualité de l'air. En moyenne, par maille de $4 \times 4 \text{ km}^2$, les concentrations de particules, de dioxyde d'azote et de dioxyde de soufre restent inférieures aux valeurs limites ou cibles européennes. Pour l'ozone, les objectifs à moyen terme ont été atteints. La majorité de la population reste toutefois exposée à des concentrations supérieures aux valeurs recommandées par l'OMS pour les PM_{10} , les $PM_{2.5}$, l'ozone et le NO_2 .

TAB. 1 : Indicateurs de la qualité de l'air en Belgique, 2021

Indicateur	min.	moy.	max.	Norme européenne	Valeur indicative OMS (2021)
PM₁₀					
Moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7	14	24	40	15
Nombre de jours $>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	2	10	Max. 35 jours	
Nombre de jours $>45 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	3	16		Max. 3 jours
PM_{2.5}					
Moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4	9	14	25	5
Ozone					
Nombre de jours $>$ seuil d'information $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$		0			
Nombre de jours $>$ seuil d'alerte $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$		0			
Nombre de jours avec max 8h $>120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	4	10	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 2019–2021)	5	14	22	OMT : 25 jours, moyenne sur 3 ans, OLT : 0 jours	0 jour avec max 8h $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$
AOT60 ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$)	0	272	976	5800***	
AOT40 végétation ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$)	1407	6630*	9382	OMT : 18000 moyenne sur 5 ans, OLT : 6000	
AOT40 végétation (moyenne 2017–2021) ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$)	3107	11817*	17216	OMT : 18000 moyenne sur 5 ans, OLT : 6000	
AOT40 forêts ($(\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$)	1931	11208**	15579	Niveau critique : 10000***, niveau de référence : 20000***	
NO₂					
Moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3	9	30	40	10
19 ^{ème} moyenne horaire la plus élevée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15	34	88	200	Moyenne horaire la plus élevée : 200
SO₂					
25 ^{ème} horaire la plus élevée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	2	16	350	
4 ^{ème} moyenne journalière la plus élevée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1	1	9	125	Moyenne journalière la plus élevée : 40

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.

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	74,0 %
Nombre de jours >50 µg/m ³	Max. 35 jours	0 %		
Nombre de jours >45 µg/m ³			Max. 3 jours	62,3 %
PM_{2.5}				
Moyenne annuelle	25 µg/m ³	0 %	5 µg/m ³	98,8 %
Ozone				
Nombre de jours avec max 8h >120 µg/m ³	LTD : 0 jours	95,5 %	Max. 8h journalière >100 µg/m ³	100 %
Nombre de jours avec max 8h >120 µg/m ³ (moyenne 2019-2021)	OMT : 25 jours moyenne sur 3 ans	0 %		
AOT60	5800* (µg/m ³).h	0 %		
AOT40 végétation	OLT : 6000 (µg/m ³).h	77,4 %		
AOT40 végétation (moyenne 2017-2021)	OMT : 18000 (µg/m ³).h moyenne sur 5 ans	0 %		
AOT40 forêts	Niveau critique : 10000* (µg/m ³).h	83,3 %		
AOT40 forêts	Niveau de référence : 20000* (µg/m ³).h	0 %		
NO₂				
Moyenne annuelle	40 µg/m ³	0 %	10 µg/m ³	79,7 %
Moyenne horaire >200 µg/m ³	Max. 18 heures	0 %	0 heure	0 %
SO₂				
Moyenne journalière >125 µg/m ³	Max. 3 jours	0 %	Moyenne journalière >40 µg/m ³	0 %
Moyenne horaire >350 µg/m ³	Max. 24 heures	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 2021 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 : Pandémie de COVID-19

La pandémie de COVID-19, causée par le SARS-CoV-2, et les mesures prises pour prévenir les contaminations ont eu un impact majeur sur les activités économiques et sociales en 2020 et 2021. Cela a indéniablement eu un impact sur les émissions et les concentrations de polluants, entre autres celles de NO₂ et d'O₃. CELINE a publié une étude spécifique sur cet impact pour l'année 2020 [7].

En Flandre, les réseaux de mesure sont gérés par la [Vlaamse Milieumaatschappij \(VMM\)](#), en Wallonie par l'[Institut Scientifique de Service Public \(ISSeP\)](#) ainsi que par l'[Agence Wallonne de l'Air et du Climat \(AWAC\)](#) et à Bruxelles par [Bruxelles Environnement](#). 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 2021 et l'évolution de celle-ci au cours des dernières années. Les polluants PM₁₀, PM_{2.5}, BC, O₃, NO₂ et SO₂ 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 différentes 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 5.0_v2020 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 résultats annuels publiés par la Flandre, la Wallonie et Bruxelles sont disponibles sur les sites web régionaux www.vmm.be¹, www.wallonair.be² et www.environnement.brussels³.

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 4x4 km², on suppose que toutes les personnes qui y résident sont exposées à une même concentration homogène.

¹Emissies en concentraties luchtverontreinigende stoffen

²Rapports annuels des réseaux de surveillance de la qualité de l'air en Wallonie

³Rapports annuels de la qualité de l'air en région de Bruxelles-Capitale

Pour des visualisations à haute résolution des concentrations moyennes annuelles, 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](#).

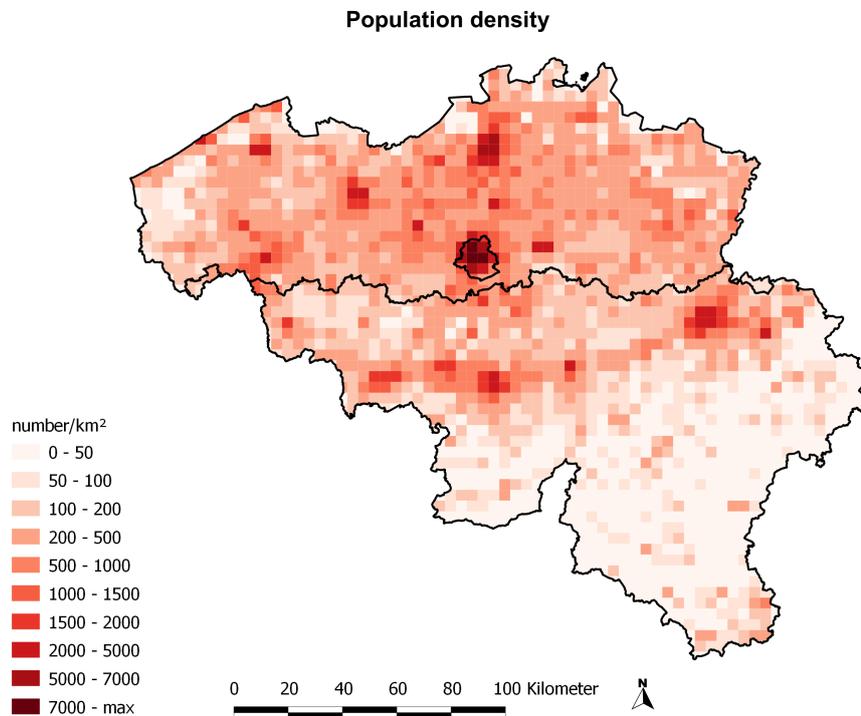


FIG. 1 : Densité de la population par cellule de la grille RIO (source : chiffres de la population, Statistics Belgium)

Les calculs des différents indicateurs et les analyses des tendances ont été effectués à l'aide du logiciel « OpenAir » [4], développé pour le logiciel de statistique R [12]. Les cartes de ce rapport annuel ont été créées avec le logiciel de système d'information géographique QGIS [11]. La mise en page du document a été réalisée avec L^AT_EX.

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 établit des mesures visant à évaluer la qualité de l'air en Europe, à lutter contre la pollution et les nuisances, à recueillir et diffuser des informations précises, et à 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.

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 [5]. 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 [9]. Dans ce rapport, ces valeurs indicatives sont ajoutées aux figures et tableaux le cas échéant. Le tableau 4 donne à la fois les valeurs indicatives actuelles et les anciennes valeurs indicatives de 2005.

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(2005)	Valeur(2021)
PM ₁₀	1 jour	3	50 µg/m ³	45 µg/m ³
	1 année		20 µg/m ³	15 µg/m ³
PM _{2.5}	1 jour	3	25 µg/m ³	15 µg/m ³
	1 année		10 µg/m ³	5 µg/m ³
NO ₂	1 heure	0	200 µg/m ³	200 µg/m ³
	1 jour	3		25 µg/m ³
	1 année		40 µg/m ³	10 µg/m ³
O ₃	8 heures *	0	100 µg/m ³	100 µg/m ³
	6 mois **			60 µg/m ³
SO ₂	10 minutes	0	500 µg/m ³	500 µg/m ³
	1 jour			20 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. En outre, les polluants peuvent être formés ou détruits par différentes réactions physico-chimiques dans l'atmosphère, peuvent quitter l'atmosphère par les processus de dépôt 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 tous 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 [14][15]. 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 ($> 25\text{ °C}$) 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. A partir du 01/11/2016, il est 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 2021, le seuil d'information a été activé deux fois, seul le deuxième épisode a duré plus d'un jour.

Lors du premier épisode, du 25/02 au 26/01, le seuil d'information pour les PM_{10} a été dépassé en Flandre et en Wallonie. Au cours de cette période, on a mesuré un faible rapport entre les $\text{PM}_{2,5}$ et les PM_{10} et donc une proportion élevée de la fraction grossière des particules fines. La principale explication est l'impact d'un nuage de poussières provenant du Sahara nord-africain. La poussière a été transportée au-dessus de l'Europe à haute altitude, une partie est également descendue dans les basses couches de l'atmosphère. La deuxième activation du seuil d'information a eu lieu du 3 au 5 mars et a concerné les

Daily average Particulate Matter (PM10) concentrations on: Wednesday 03/03/2021

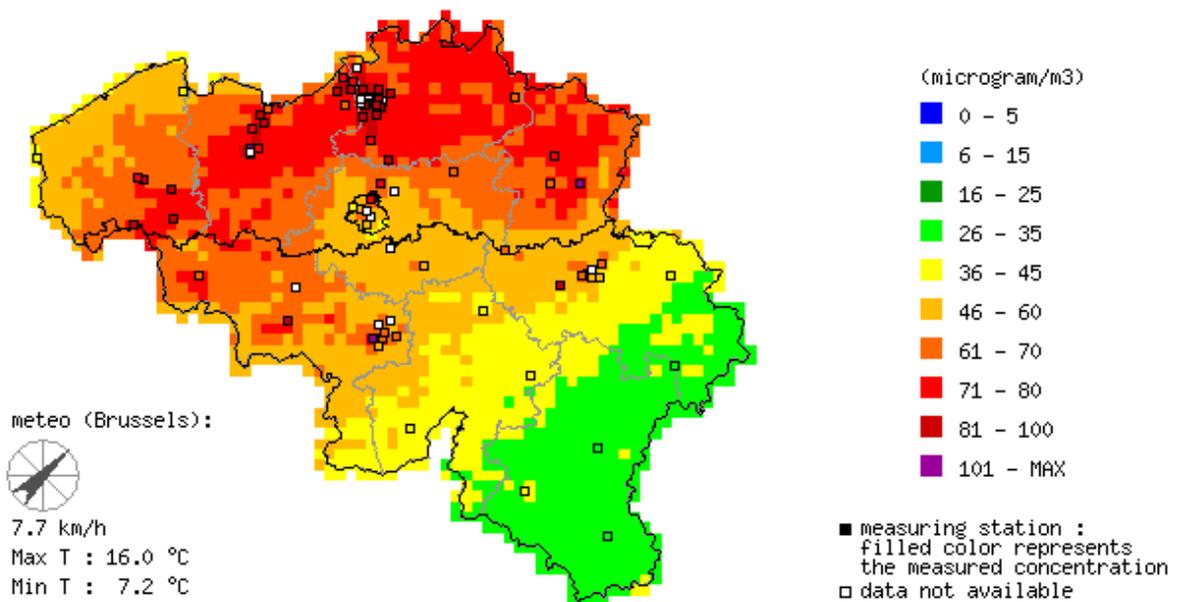


FIG. 2 : Moyenne journalière des concentrations de PM₁₀ pour la journée du 3 mars 2021.

PM₁₀ dans les trois régions.

Les figures 2 et 3 montrent la distribution spatiale des concentrations moyennes journalières du 3 mars 2021. La figure 4 montre l'évolution de la moyenne glissante sur 24 heures, calculée sur l'ensemble des stations de mesure par région, pendant le deuxième épisode.

Les conditions d'activation du seuil d'*alerte* du plan smog n'ont pas été atteintes en 2021.

4.2 Smog estival

L'année 2021 a été caractérisée par un mois de juin très chaud et humide, des mois de juillet et août sombres et un mois de septembre chaud et sec. Cela a eu un impact majeur sur l'apparition du smog estival : aucune station de mesure n'a dépassé le seuil d'information européen de 180 µg/m³. La moyenne horaire maximale mesurée en 2021 a été de 179 µg/m³.

C'est la première année depuis le début des mesures où aucun jour d'ozone n'a été observé, le précédent minimum datant de 2014 où il n'y avait eu qu'un jour d'ozone. En 2020, 13 jours d'ozone avaient été observés. Lors des étés très chauds de 2003 et 2006, 16 et 22 jours de dépassement du seuil d'information ont été enregistrés respectivement. En 2003, le seuil d'alerte de 240 µg/m³ avait été dépassé pendant 7 jours à au moins un site de mesure. L'épisode de smog d'août 2020, avec 8 jours consécutifs d'ozone, est le deuxième plus long depuis 1990. Seule la série de 12 jours d'ozone consécutifs d'août 2003 avait été plus longue.

Daily average Particulate Matter (PM_{2.5}) concentrations on: Wednesday 03/03/2021

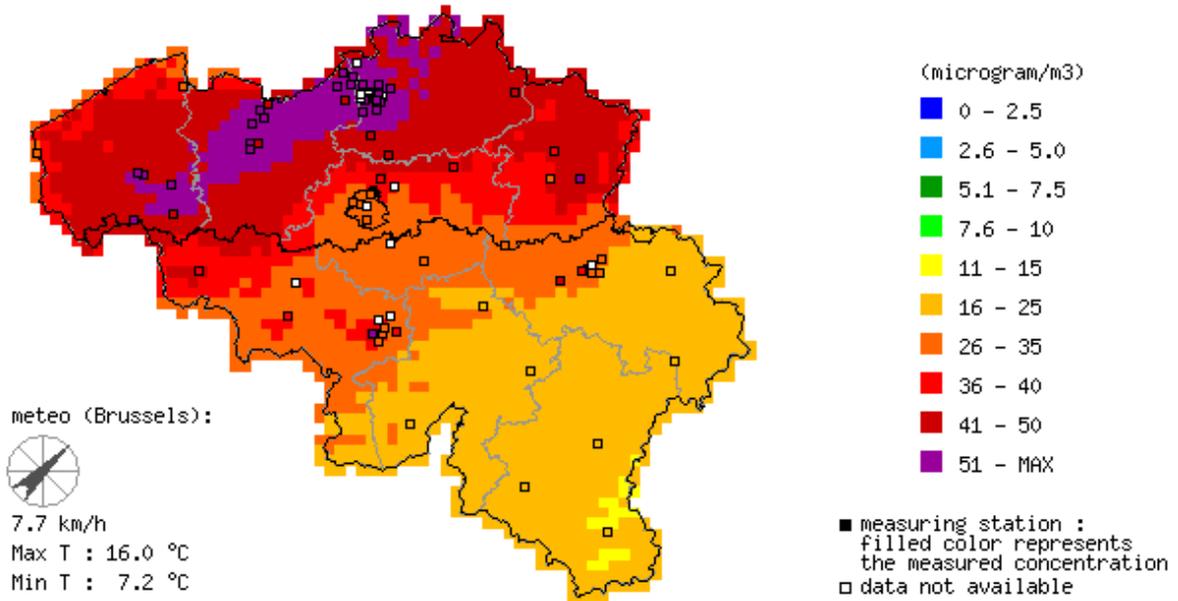


FIG. 3 : Moyenne journalière des concentrations de PM_{2.5} pour la journée du 3 mars 2021.

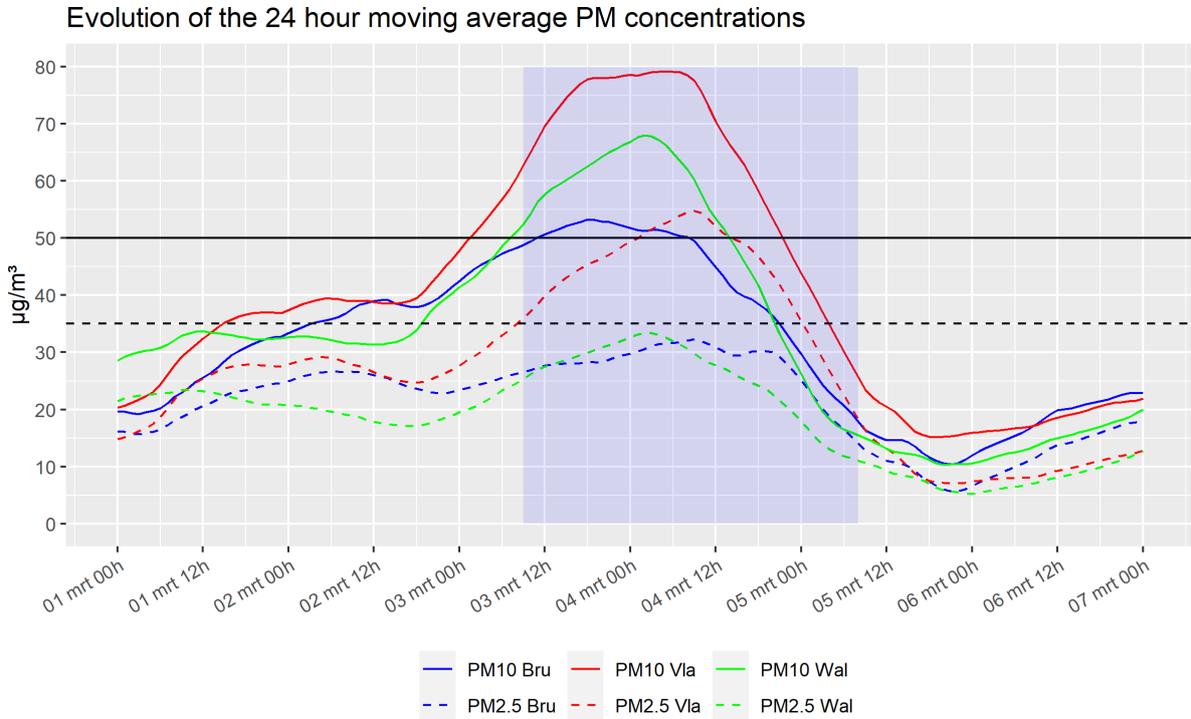


FIG. 4 : Evolution de la concentration moyenne glissante 24h de PM₁₀ et PM_{2.5} moyennée sur l'ensemble des stations de mesure par région du 1 mars 2021 au 7 mars 2021. Ce graphique n'est pas basé sur les valeurs interpolées.

Daily highest 1-hourly Ozone concentrations on: Wednesday 16/06/2021

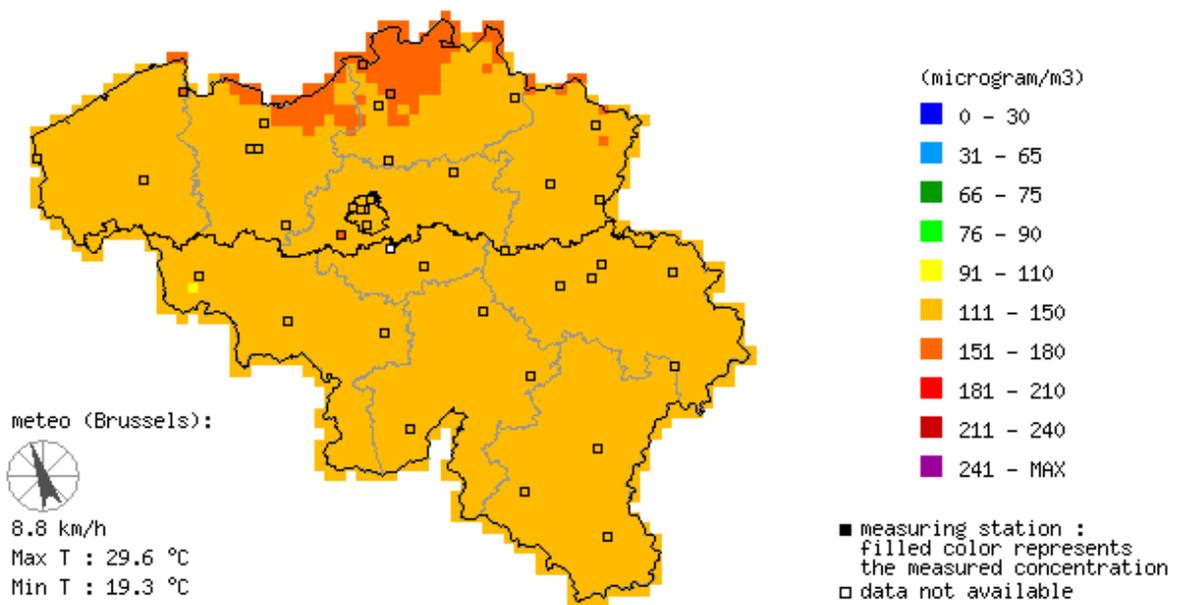


FIG. 5 : Concentrations d'ozone horaires maximales du 16 juin 2021.

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. Par conséquent, 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 $PM_{2.5}$ est également considérée comme faisant partie de la catégorie PM_{10} . Une troisième catégorie, le BC ou « black carbon » ou encore « carbone suie », 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 au sol emportée par le vent, ou des sources anthropiques, comme les transports, l'industrie, l'agriculture et le chauffage des bâtiments. Les particules peuvent être émises directement par ces sources (particules primaires) ou apparaître 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 ou importées.

Les principaux effets sanitaires de la pollution atmosphérique sont imputables aux particules fines. Selon l'OMS, il n'existe pas de seuil en-dessous duquel on ne constate aucun effet nocif des particules fines.

5.1 PM₁₀

5.1.1 Stations de mesure PM₁₀

En 2021, les concentrations de PM₁₀ ont été mesurées dans 80 stations, soit le nombre le plus élevé depuis 1997. L'augmentation des stations de mesure, comme le montre la figure 6, entraîne une diminution de l'incertitude des valeurs interpolées discutées dans ce chapitre.

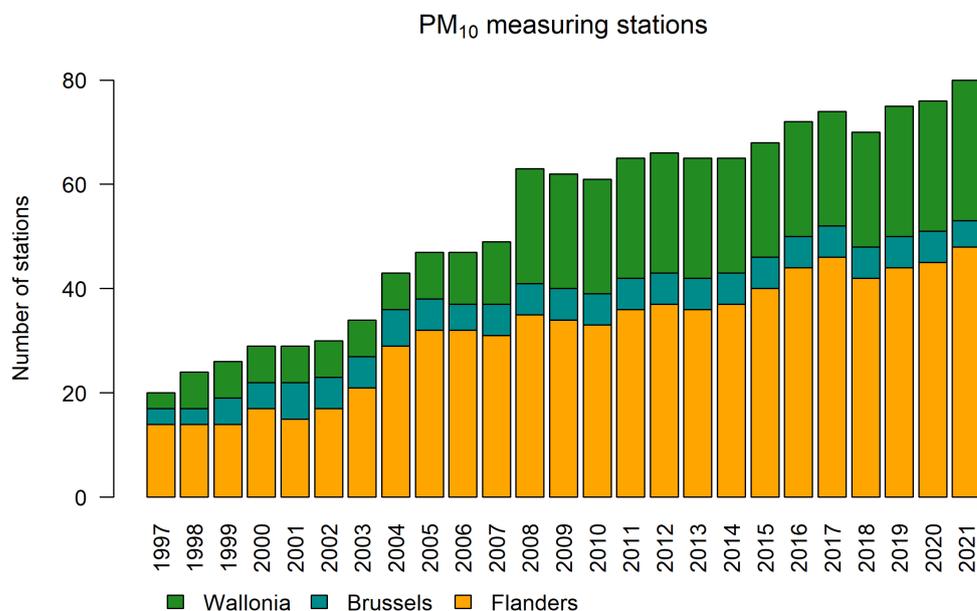


FIG. 6 : Evolution de nombre de stations de mesure de PM₁₀ en Belgique.

5.1.2 Concentrations moyennes annuelles de PM₁₀

La figure 7 montre les concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ par maille de 4x4 km². Les concentrations les plus élevées, de 20 à 24 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 autour de 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 8 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 2021⁴. 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 2021. La valeur recommandée par l'OMS est de 15 µg/m³, en 2021 cette valeur a été dépassée dans 46 % du territoire.

En 2021, la concentration moyenne annuelle belge de PM₁₀ s'élève à 14,5 µg/m³. Elle s'élève à 16,4 µg/m³ à Bruxelles, en Flandre à 18,7 µg/m³, et en Wallonie à 11,0 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 Belgique, elle atteint une moyenne de 17,3 µg/m³.

En 2021, personne en Belgique n'a été exposé à des concentrations moyennes annuelles supérieures à la norme européenne de 40 µg/m³ (figure 9). L'exposition de la population a toutefois légèrement augmenté par rapport à l'année 2020, année où les mesures pour réduire les infections par le SARS-CoV-2 étaient plus sévères. Sur plusieurs années, on observe cependant une tendance à la baisse de l'exposition de la population. En 2021, 74 % de la population était exposée à des concentrations de PM₁₀ supérieures à la

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

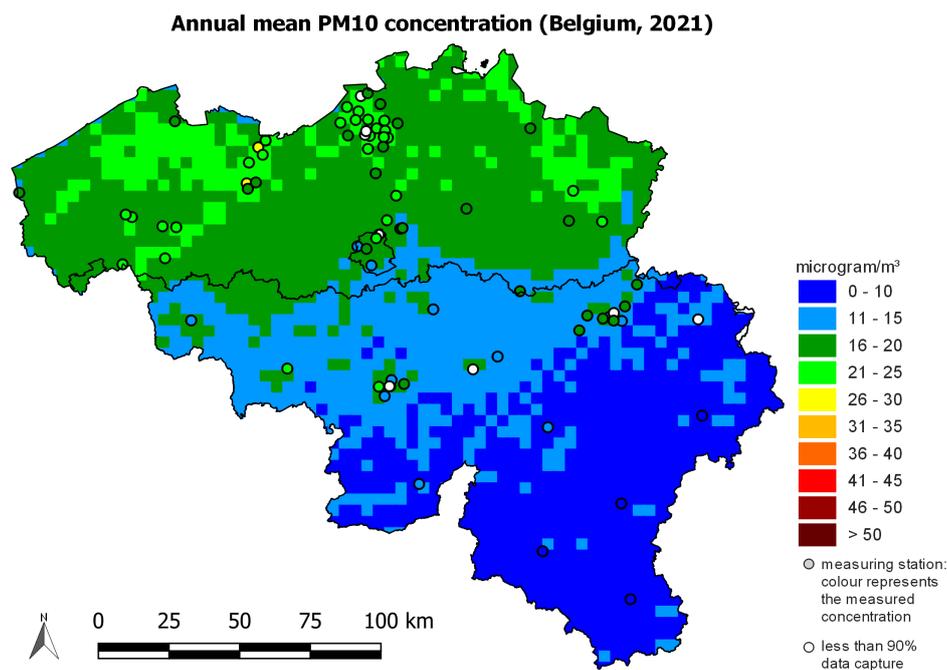


FIG. 7 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle de PM₁₀ en Belgique en 2021. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

valeur indicative de l'OMS ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 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 contre une exposition de courte durée aux PM₁₀ est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière. Ce seuil ne peut en outre être dépassé plus de 35 jours par an selon la directive européenne. La figure 10 montre le nombre de jours de dépassement de cette limite journalière sur base des valeurs moyennes par cellule de $4 \times 4 \text{ km}^2$. Le seuil européen n'a été dépassé nulle part. Le maximum est de 10 dépassements, ce qui constitue le maximum le plus faible depuis le début des mesures en 1997. Les fluctuations entre les différentes années peuvent être dues, entre autres, aux conditions météorologiques. Cependant, 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 a un effet favorable sur le nombre de jours de dépassement. La valeur indicative de l'OMS est de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière pour les PM₁₀ avec un maximum de 3 dépassements par an. La figure 11 montre l'évolution des dépassements de cette limite de l'OMS.

La figure 12 présente le nombre de dépassements en Belgique. Le nombre de jours où la concentration moyenne journalière est supérieure à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est le plus élevé dans les villes de Gand et d'Anvers et dans la province de Flandre occidentale. Le seuil OMS a été dépassé sur 39 % du territoire. L'exposition de la population est calculée sur base de la densité de population présente dans les cellules de la grille (voir figure 13 pour les dépassements du seuil de l'UE et figure 14 pour les dépassements du seuil de l'OMS). En 2021, 62 % de la population a été exposée pendant plus de 3 jours à une concentration moyenne journalière supérieure à $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette proportion est en forte baisse ces dernières années, en 2017 elle était de 93 %.

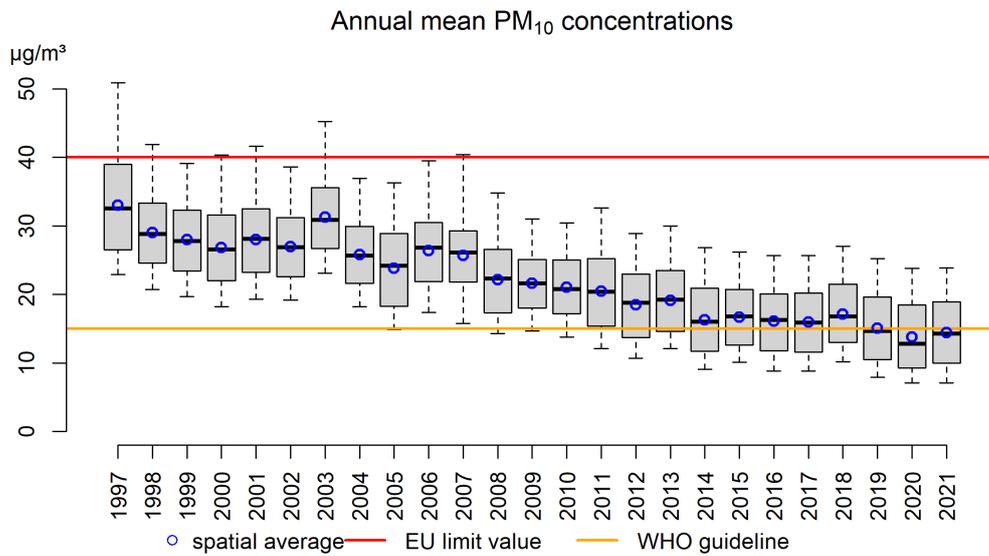


FIG. 8 : Diagramme en boîte des concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ (µg/m³) sur la période 1997–2021 en Belgique. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

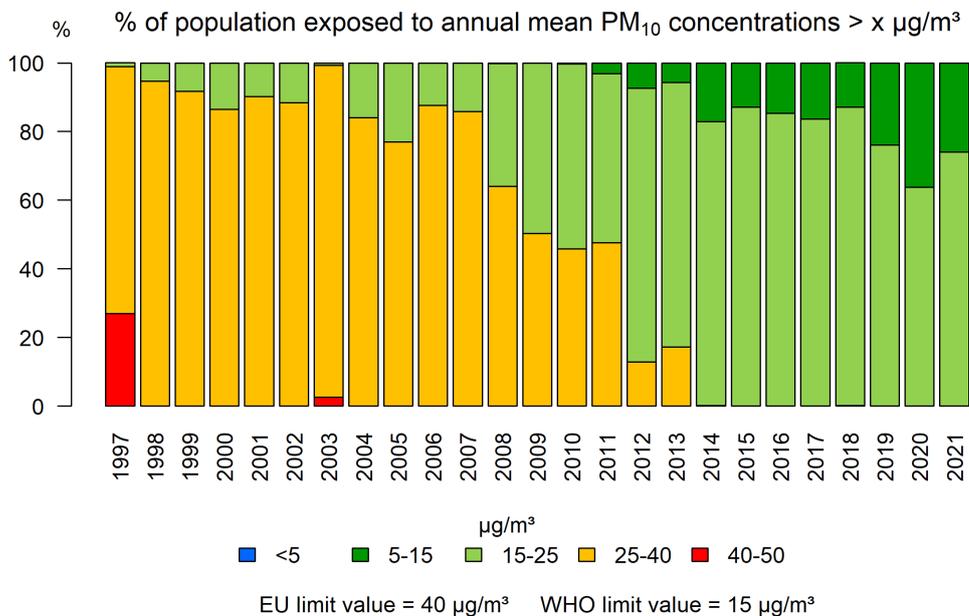


FIG. 9 : Evolution de l’exposition de la population aux concentrations moyennes annuelles de PM₁₀, calculée sur base de la technique d’interpolation RIO.

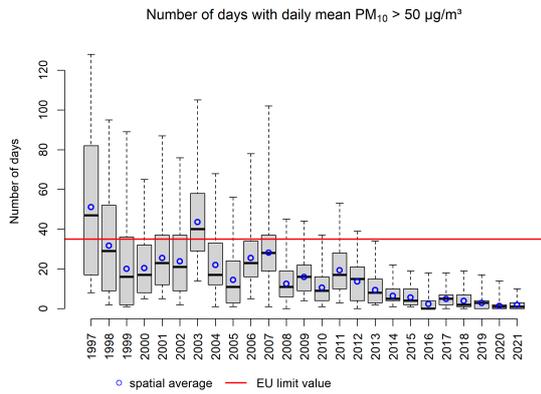


FIG. 10 : Diagramme en boîte du nombre de jours par an où les concentrations moyennes journalières de PM_{10} ont été supérieures à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

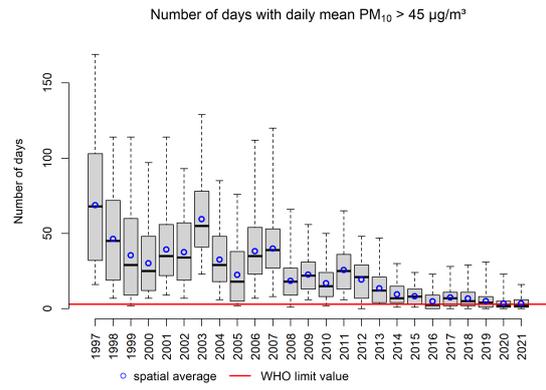


FIG. 11 : Diagramme en boîte du nombre de jours par an où les concentrations moyennes journalières de PM_{10} ont été supérieures à $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

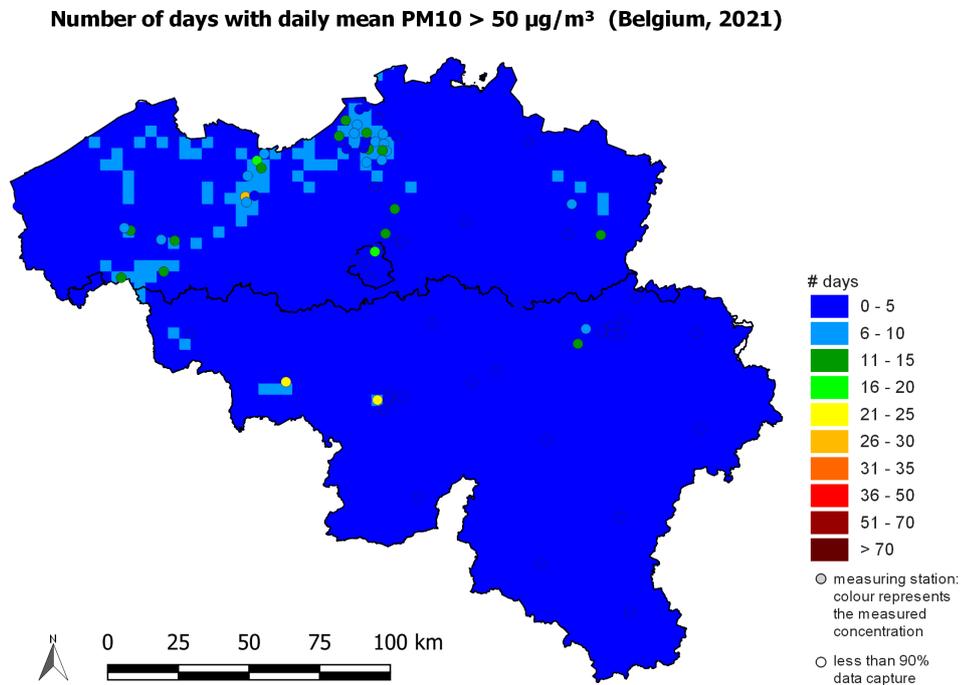


FIG. 12 : Distribution spatiale du nombre de jours en 2021 où la concentration moyenne journalière de PM_{10} a dépassé $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Belgique. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

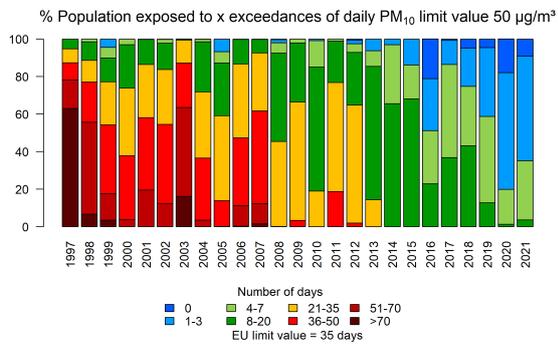


FIG. 13 : Evolution de l'exposition de la population à des jours de concentration moyenne journalière de PM_{10} supérieure à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

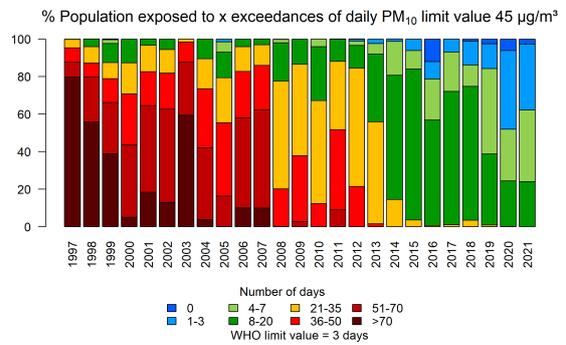


FIG. 14 : Evolution de l'exposition de la population à des jours de concentration moyenne journalière de PM_{10} supérieure à $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

5.2 PM_{2.5}

5.2.1 Stations de mesure PM_{2.5}

En 2021, les concentrations de PM_{2.5} ont été mesurées dans 79 stations, soit le nombre le plus élevé depuis 2000. L'augmentation des stations de mesure, comme le montre la figure 15, entraîne une diminution de l'incertitude sur les valeurs interpolées discutées dans ce chapitre.

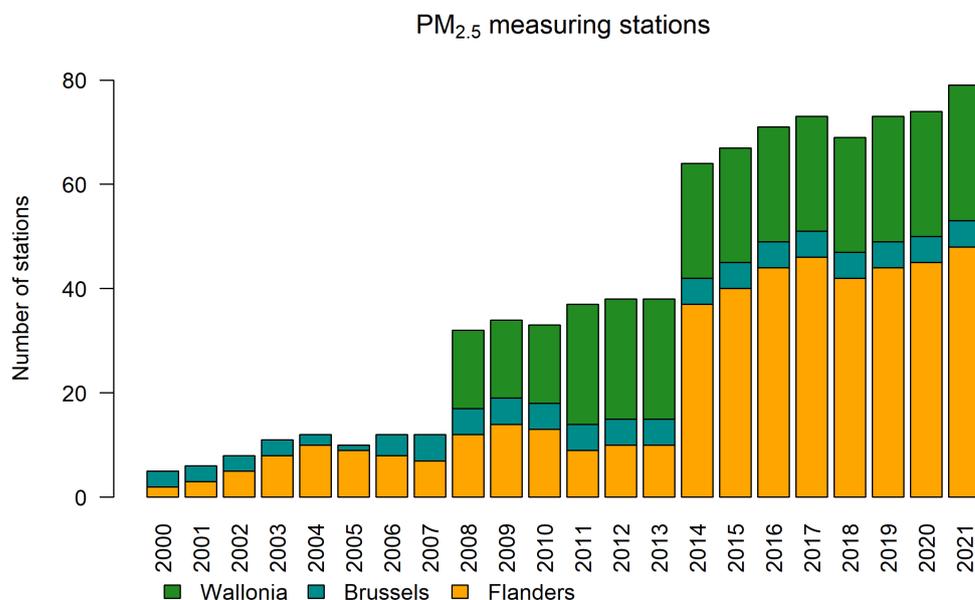


FIG. 15 : Evolution du nombre de stations de mesure de PM_{2.5} en Belgique.

5.2.2 Concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5}

La figure 16 présente les concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5} en Belgique. Les concentrations les plus élevées, supérieures à 13 µg/m³, sont observées principalement en Flandre occidentale.

Les valeurs de la figure 16 peuvent également être représentées par le biais de diagrammes en boîte⁵. La figure 17 présente le minimum, la moyenne, la médiane, et le maximum des concentrations sur base des valeurs interpolées pour la période 2005-2021. La valeur limite européenne est de 25 µg/m³ en concentration moyenne annuelle. Elle n'a été dépassée nulle part en 2021. La valeur conseillée par l'OMS est de 5 µg/m³, en 2021 cette valeur a été dépassée sur 94 % du territoire.

En 2021, la concentration spatiale moyenne annuelle de PM_{2.5} s'élève à 8,6 µg/m³ en Belgique. Cette concentration moyenne annuelle atteint 10,3 µg/m³ à Bruxelles, 11,1 µg/m³ en Flandre, et 6,6 µg/m³ en Wallonie. La concentration moyenne annuelle pondérée en fonction de la population est toujours supérieure à la moyenne arithmétique, elle est de 10,2 µg/m³ pour tout le territoire belge.

En 2021, 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, l'exposition de la population à des concentrations supérieures à la valeur guide de l'OMS de 5 µg/m³ s'élève à 99 % en 2021 (figure 18).

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

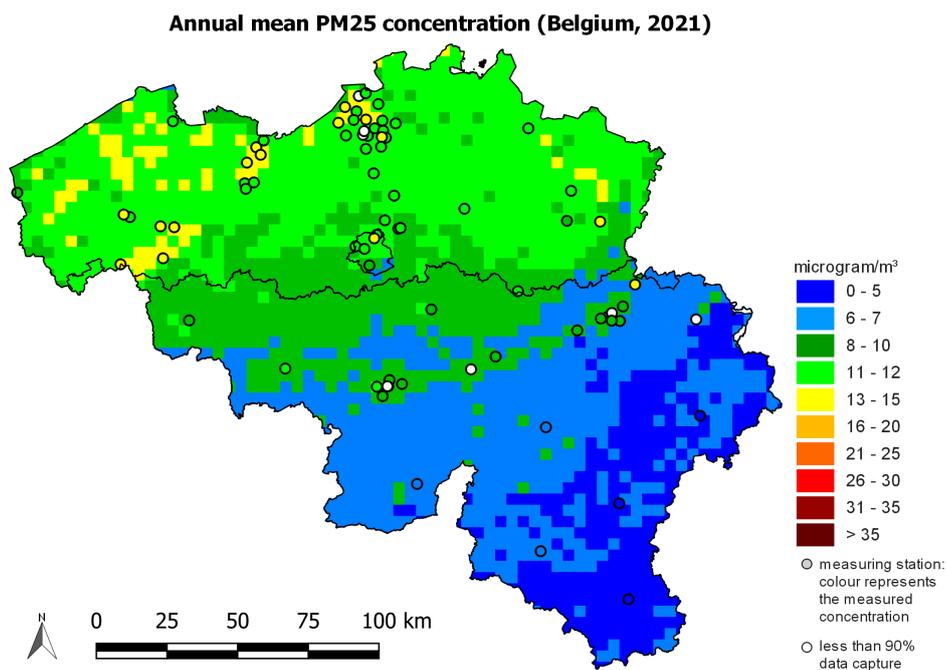


FIG. 16 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle de PM_{2,5} en Belgique en 2021. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

il correspond aux concentrations de PM_{2,5} mesurées dans les stations de fond urbain moyennées sur une période de trois ans. En 2020, l'IEM devait atteindre 15,2 µg/m³, aucun objectif n'a été fixé pour 2021 et au-delà.

L'IEM moyen pour les années 2019, 2020 et 2021 est de 10,4 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 2019, 2020 et 2021 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	2019	2020	2021
MOLENBEEK-SAINT-JEAN	11,60	9,57	10,62
UCCLE	9,57	8,46	9,73
LIEGE	7,08	5,45	8,48
CHARLEROI	10,42	7,87	9,15
BRUGGE	12,39	10,39	
GENT	13,38	11,37	13,58
ANTWERPEN	12,66	10,83	12,00
SCHOTEN	11,62	10,55	11,71
Moyenne	11,09	9,31	10,75
Moyenne 2019-2021		10,38	
IEM		10,4	

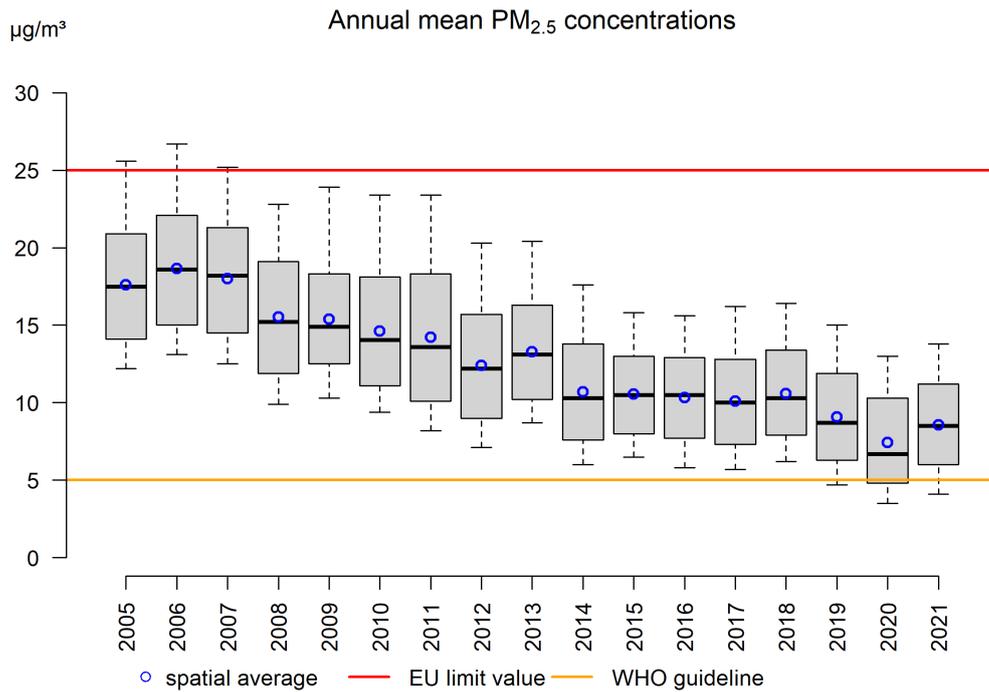


FIG. 17 : Diagramme en boîtes des concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5} (µg/m³) sur la période 2005–2021. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

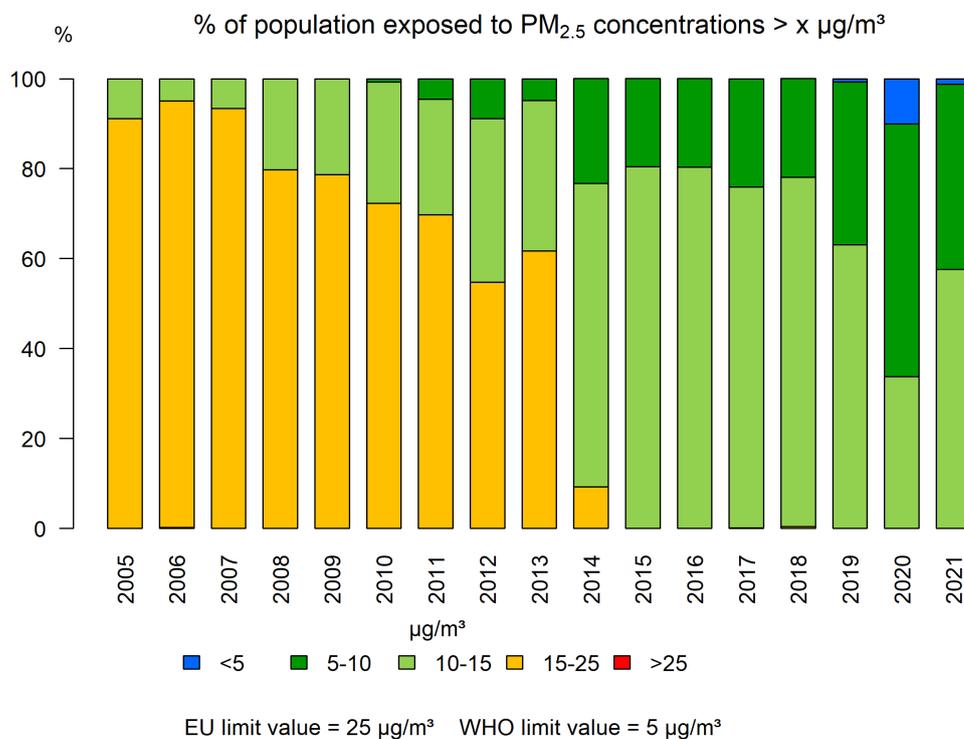


FIG. 18 : Évolution de l’exposition de la population aux concentrations moyennes annuelles de PM_{2.5}, calculée sur base de la technique d’interpolation RIO.

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 19). Le nombre de stations était de 38 en 2021, dont 27 en Flandre, 4 à Bruxelles et 7 en Wallonie.

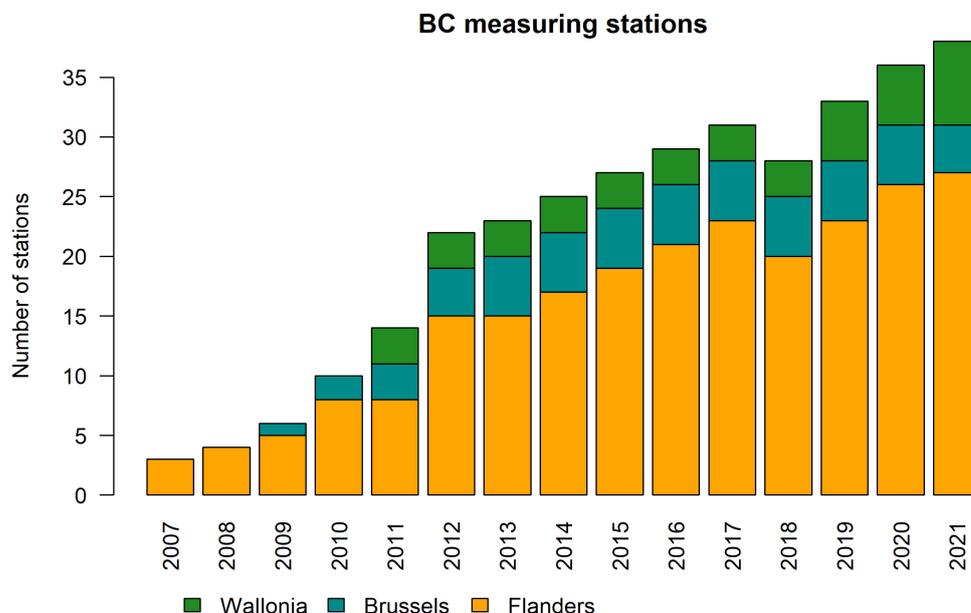


FIG. 19 : Evolution du nombre de stations de mesure du BC en Belgique.

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 20 reprend la distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle en BC en Belgique pour 2021. Il faut souligner que d'une part, le nombre de stations de mesure du black carbon est actuellement faible par rapport à la superficie à couvrir en Belgique (particulièrement en Wallonie) 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 20 n'est donc donnée qu'à titre indicatif.

Les valeurs de la figure 20 peuvent également être représentées dans un diagramme en boîte⁶. La figure 21 reprend l'évolution des valeurs maximale, de la moyenne, de la médiane, et du minimum calculées sur base des valeurs interpolées pour la période 2010-2021.

En 2021, la concentration moyenne annuelle de BC pour la Belgique s'élève à $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Elle atteint $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Bruxelles, $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Flandre, et $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Wallonie. La moyenne annuelle pondérée en fonction de la population pour la Belgique, atteint $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et est supérieure à la moyenne arithmétique.

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

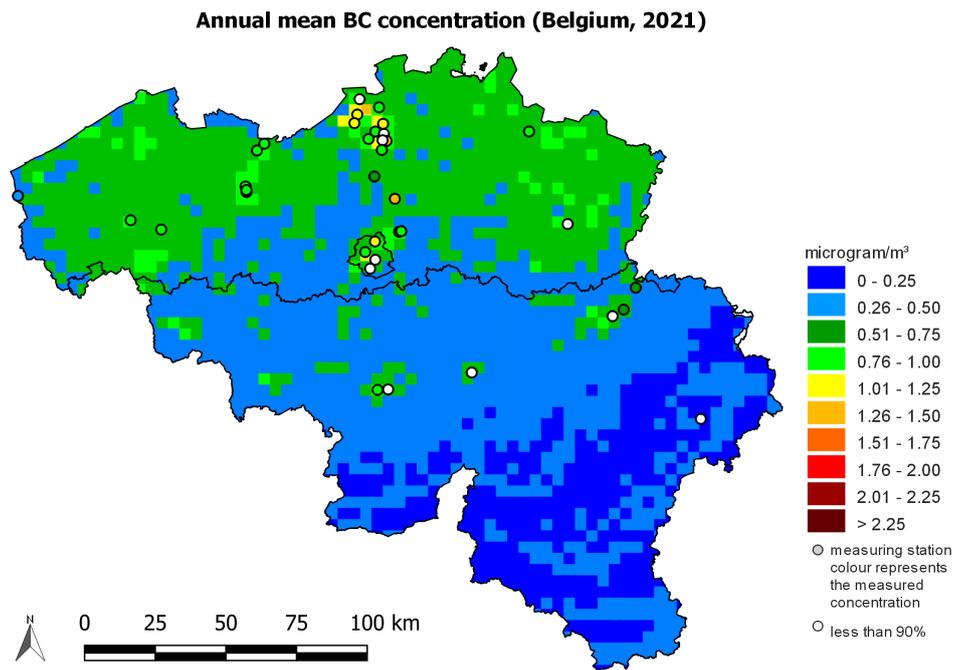


FIG. 20 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle de BC en Belgique en 2021. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

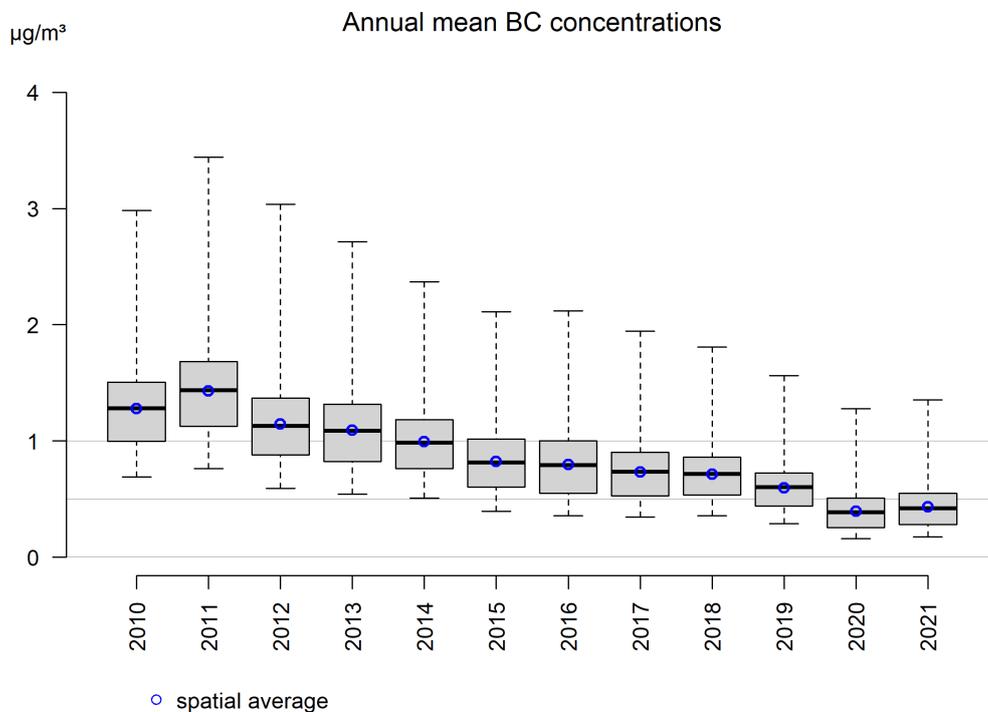


FIG. 21 : Diagramme en boîtes des concentrations moyennes annuelles de BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur la période 2010–2021. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

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 du NO dans l'air est très courte (quelques minutes). Par des réactions photochimiques avec l'ozone et les composés organiques volatils (COV), entre autres, le 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 éclairs et les feux de forêt.

Les oxydes d'azote provoquent l'acidification et l'eutrophisation des environnements naturels et jouent 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. L'effet d'une exposition de longue durée aux concentrations actuelles de NO_2 est difficile à identifier et isoler dans les études épidémiologiques. Cependant, il existe des impacts sur la santé évidents associés aux émissions du trafic et les concentrations de NO_2 sont fortement corrélées à l'ensemble de la pollution atmosphérique liée au trafic. Pour cette raison, et parce que le 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 22 montre l'évolution du nombre de stations de mesure pour le NO_2 . En 1990, il y avait 26 stations de mesure, en 2021 93 : 12 en région bruxelloise, 23 en Wallonie et 58 en Flandre. Suite à l'augmentation du nombre de points de mesure, l'incertitude de la méthode d'interpolation RIO a diminué.

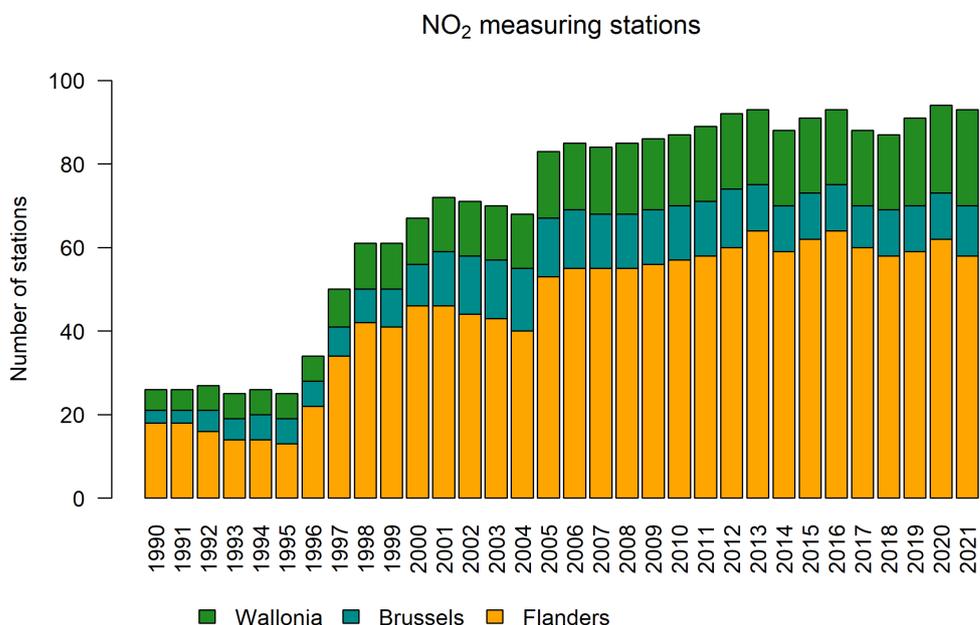


FIG. 22 : Évolution du nombre de stations de mesure de NO_2 en Belgique.

6.2 Concentrations moyennes annuelles de NO₂

La valeur limite annuelle européenne pour la protection de la population est de 40 µg/m³. Cette valeur limite est d'application depuis 2010. De manière générale, la figure 23 révèle que les moyennes annuelles les plus élevées sont mesurées dans les zones urbaines. Cela n'est pas étonnant étant donné que le NO₂ est fortement lié au trafic.

À cause de la résolution spatiale (4x4 km²), les dépassements locaux de la valeur limite pour le NO₂ ne sont pas toujours visibles sur les cartes d'interpolation. La valeur maximale de la concentration moyenne annuelle de NO₂, sur l'ensemble des mailles en Belgique, s'élève à 29,8 µg/m³. La moyenne spatiale annuelle est de 11,5 µg/m³ en Flandre, 18,1 µg/m³ à Bruxelles et 7,2 µg/m³ 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 13,9 µg/m³. Cette valeur est nettement supérieure à la moyenne spatiale annuelle sur la Belgique non pondérée en fonction de la population (9,2 µg/m³), ce qui reflète le fait que les zones les plus habitées sont également celles qui présentent les plus fortes concentrations moyennes annuelles de NO₂. Ce constat est également clairement visible sur la figure 25, qui présente la relation entre la concentration moyenne annuelle de NO₂ et la densité de population cumulée. En comparant l'année 2021 avec la moyenne de la période 2016–2020, nous constatons toujours une diminution, quelle que soit la densité de population dans la maille. Dans les cellules de la grille avec une densité de population de 1000 habitants par km² ou plus, la moyenne annuelle pour 2021 est de 15,9 µg/m³. Pour la moyenne des années 2016–2020, la concentration moyenne annuelle pour toutes les cellules de la grille ayant une densité de population supérieure ou égale à 1000 habitants par km² s'élevait à 19,9 µg/m³.

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

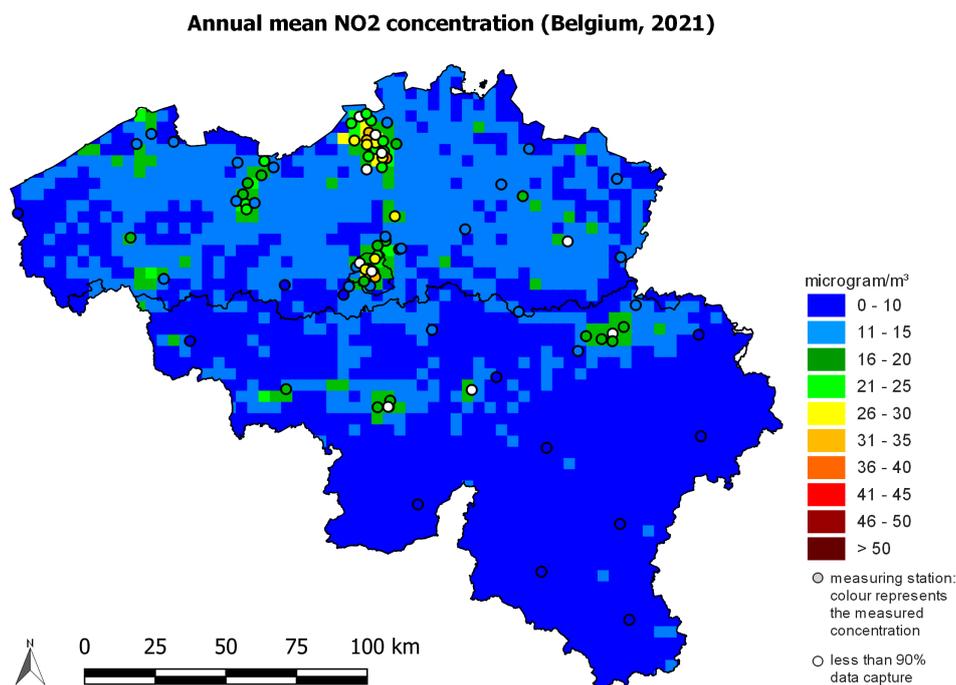


FIG. 23 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle de NO₂ en Belgique en 2021. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

Les valeurs de la figure 23 peuvent également être représentées dans un diagramme en boîte⁷. La figure 24 reprend les valeurs interpolées pour 2021 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 µg/m³ en concentration moyenne annuelle. En 2021, cette limite n'a été dépassée

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

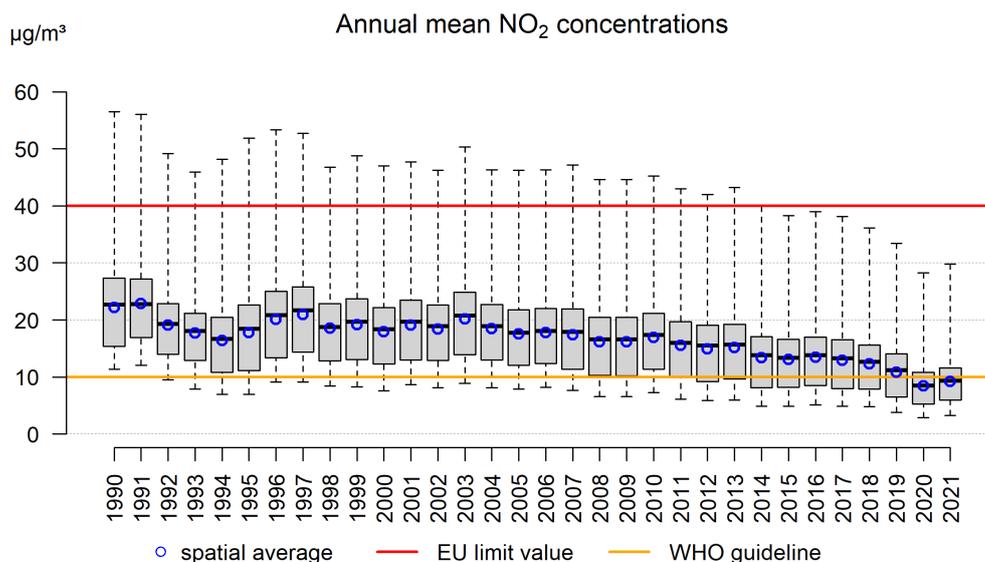


FIG. 24 : Diagramme en boîte des concentrations moyennes annuelles de NO₂ (µg/m³) sur la période 1990–2021 en Belgique. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

nulle part en Belgique. La valeur indicative de l’OMS, 10 µg/m³ en concentration moyenne annuelle, a été dépassée sur 43 % du territoire en 2021.

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 de la semaine 12 à 19 de 2020, a montré que les mesures prises ont eu un impact positif sur les concentrations de NO₂, en particulier à proximité du trafic [7]. Les faibles concentrations de la figure 23 et la diminution observée en 2020 et 2021 sur la figure 24 sont donc en partie dues à ces mesures temporaires. Les concentrations de NO₂ sont plus élevées en 2021 qu’en 2020, ce qui est corrélé avec l’importance des mesures de restrictions des déplacements liées à la pandémie de COVID-19.

Depuis 2003, le pourcentage de la population exposé à des concentrations moyennes annuelles élevées de NO₂ est en diminution (figure 26). En 1998, le pourcentage de la population belge exposé à une concentration moyenne annuelle supérieure à la valeur limite de l’UE était de 7 %. En 2013, ce chiffre était tombé à 3 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 26 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 soient dépassés à quelques reprises par an, mais l’ensemble des points de mesure reste en dessous des

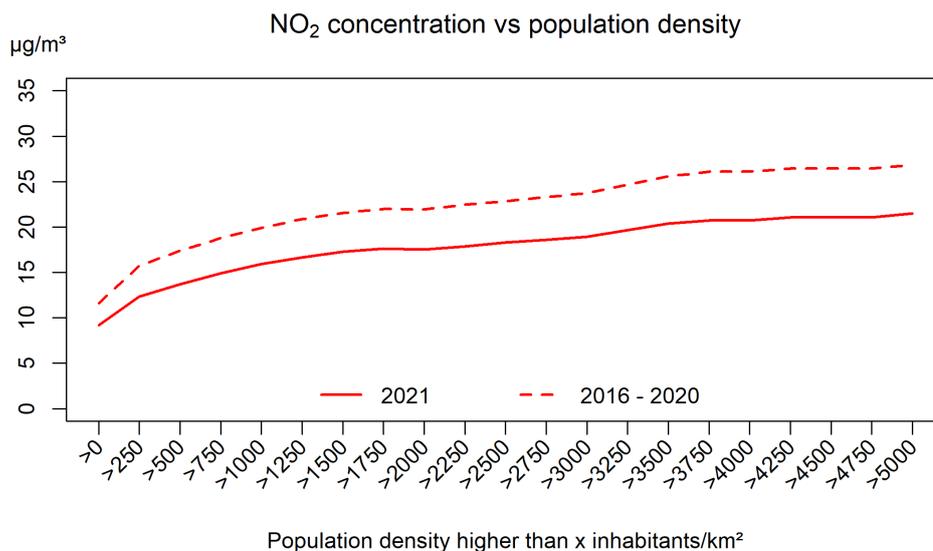


FIG. 25 : Relations entre les concentrations moyennes annuelles interpolées de NO₂ et la densité de population (habitants/km²). Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

18 heures de dépassement autorisées. En raison de la résolution de la méthode d'interpolations RIO, rappelons que les dépassements très locaux ne sont à nouveau pas visibles. La 19^{ème} valeur horaire la plus élevée en Belgique en 2021 est présentée à la figure 27 (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 2021 (pour les moyennes par cellule de 4x4 km²), est observée en Flandre et s'élève à 88,4 µg/m³, ce qui est largement en-dessous de la limite européenne de 200 µg/m³. La valeur indicative de l'OMS est également de 200 µg/m³, mais aucun dépassement n'est autorisé. Cette valeur OMS est donc également respectée partout en Belgique sur base des valeurs interpolées RIO.

Les valeurs de la figure 27 peuvent également être représentées dans un diagramme en boîte⁸. La figure 28 reprend les valeurs interpolées pour 2021 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

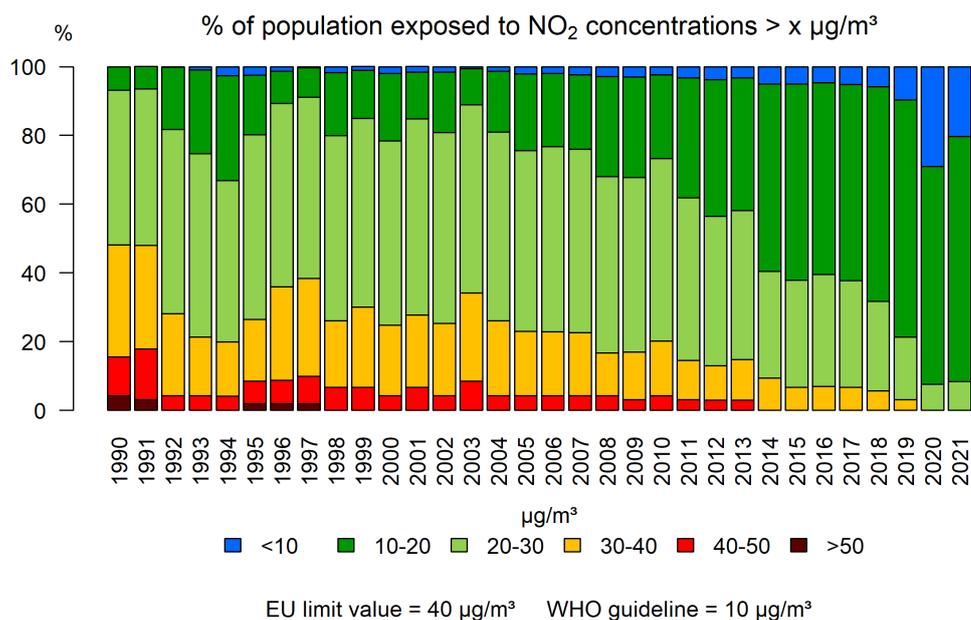


FIG. 26 : Pourcentage de la population belge exposée à des concentrations moyennes annuelles de NO₂. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

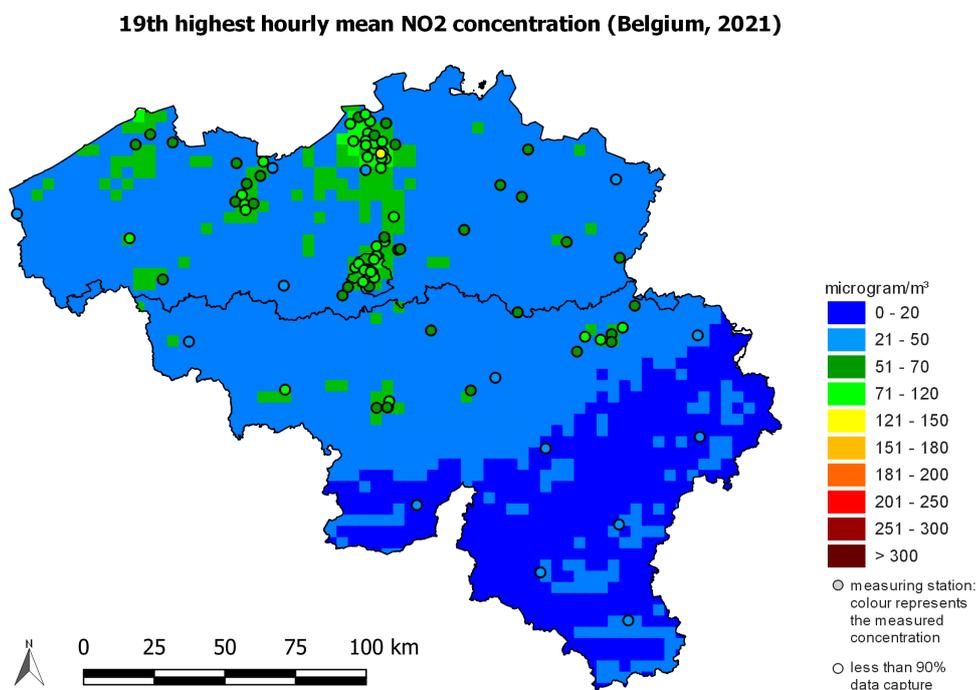


FIG. 27 : Distribution spatiale de la 19^{ème} concentration moyenne horaire de NO₂ la plus élevée en Belgique en 2021. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

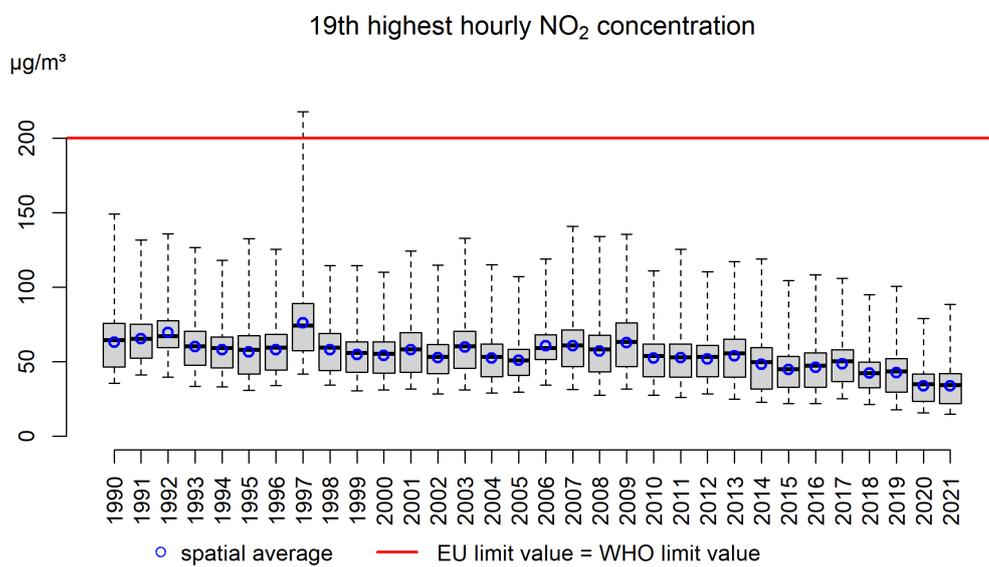


FIG. 28 : Diagramme en boîte de la 19^{ème} concentration horaire moyenne la plus élevée de NO₂ (µg/m³) sur la période 1990–2021. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

7 Ozone

L’ozone (O_3) est un gaz très réactif formé par réactions photochimiques 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 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 globale 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 O_3 pour 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 possédant de nombreuses sources de NO_x .

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 et le méthane, 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 2021, les concentrations d’ozone ont été mesurées dans 41 stations. L’augmentation des stations de mesure, comme le montre la figure 29, 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 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ plus de 25 fois par an. Cette valeur cible européenne est 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 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est appelé NET60⁹.

Les figures 30 et 31 montrent la distribution spatiale du nombre de jours de dépassement en 2021 et en moyenne sur 2019, 2020 et 2021. En 2021, le nombre de jours de dépassement était faible partout, d’où une distribution spatiale homogène. La moyenne sur trois ans montre un net gradient est-ouest. Les valeurs les plus élevées sont observées dans l’est de la Flandre, dans les environs de Liège et dans le centre de la Wallonie. En 2021, la valeur du NET60 la plus élevée observée en Belgique est de 10 jours. La maximum, en moyenne sur trois ans, est de 22 jours, l’OMT est donc respecté sur l’intégralité du pays. L’objectif à long terme, à savoir aucun jour de dépassement, n’est respecté que dans 1 % du territoire.

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

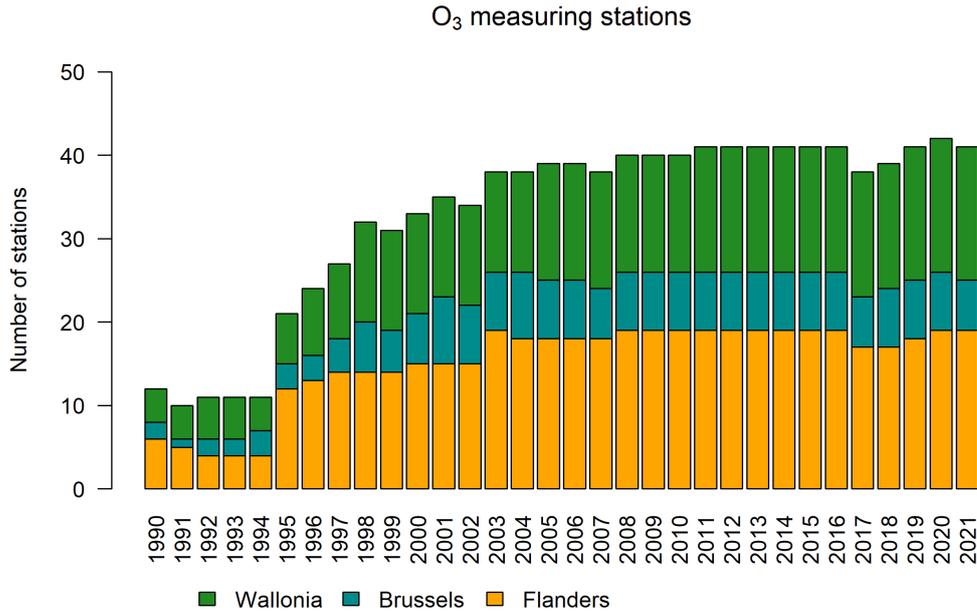


FIG. 29 : Evolution du nombre de stations de mesure d'O₃ en Belgique.

Les nombres de jours de dépassement les plus faibles sont observés dans les zones urbaines et à la côte. La moyenne spatiale de NET60 (calculée sur la période 2019–2021) en Belgique est de 13,5 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 32). 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. Les mois sombres de juillet et août 2021 ont entraîné un nombre exceptionnellement bas de dépassements. La moyenne sur les trois dernières années est à nouveau en dessous la valeur cible européenne de 25 jours.

L'évolution du pourcentage de la population exposée à des maxima journaliers de concentrations moyennes sur 8 heures supérieurs à 120 µg/m³ est présentée sur la figure 33. On peut constater que l'exposition de la population en 2021 était la plus basse depuis 1990. Par rapport à 2018–2020 la réduction est remarquable. La limite de 25 jours d'exposition à des concentrations moyennes d'ozone sur 8 heures supérieures à 120 µg/m³ n'a été dépassée nulle part en Belgique. Précédemment, les années 1990, 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 80 % de la population a été exposée à plus de 25 jours de concentrations avec un max 8h > 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 2021.

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

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

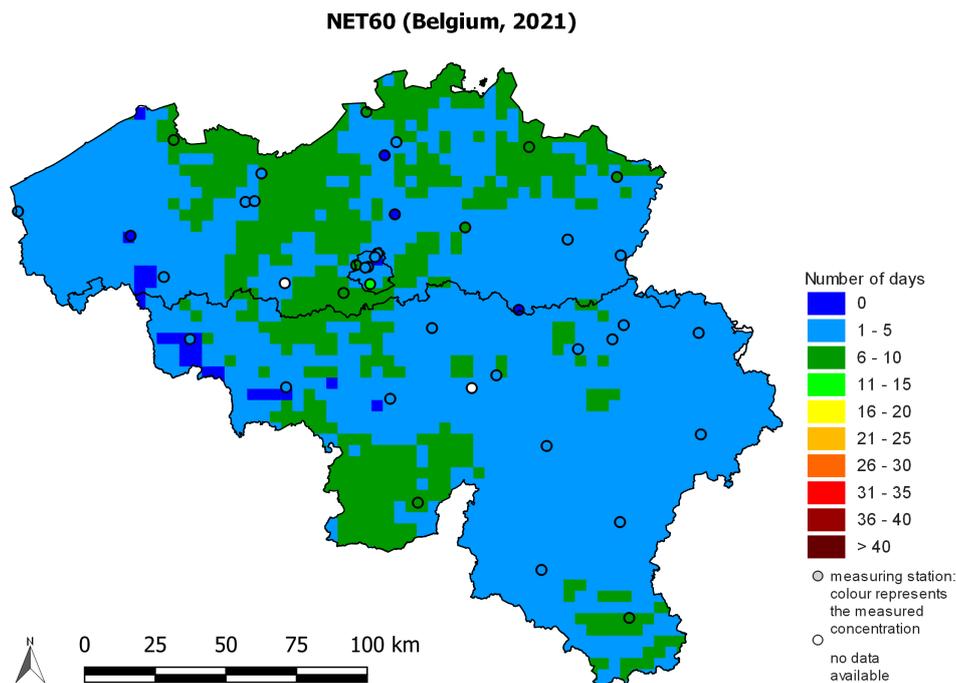


FIG. 30 : Distribution spatiale du nombre de jours où le maximum de la concentration moyenne d’ozone sur 8 heures $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 2021. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

5800 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).heures avait été proposé pour 2010, ce qui correspond environ à un NET60 de 25 jours. L’objectif à long terme est de 0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).heures. 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 34 présente la distribution spatiale de l’AOT60 en Belgique en 2021. Il est clair que la surcharge d’ozone en 2021 était faible sur l’ensemble du territoire. La valeur la plus élevée, 976 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h, a été atteinte dans la province d’anvers, en 2020 la valeur la plus élevée était 5208 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h. L’objectif à long terme de 0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h n’a été atteint dans 1 % du territoire en 2021.

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 de nouveau que l’exposition à l’ozone et non l’absorption effective d’ozone par la végétation (et donc les dommages occasionnés).

NET60 (Belgium, 2019-2021)

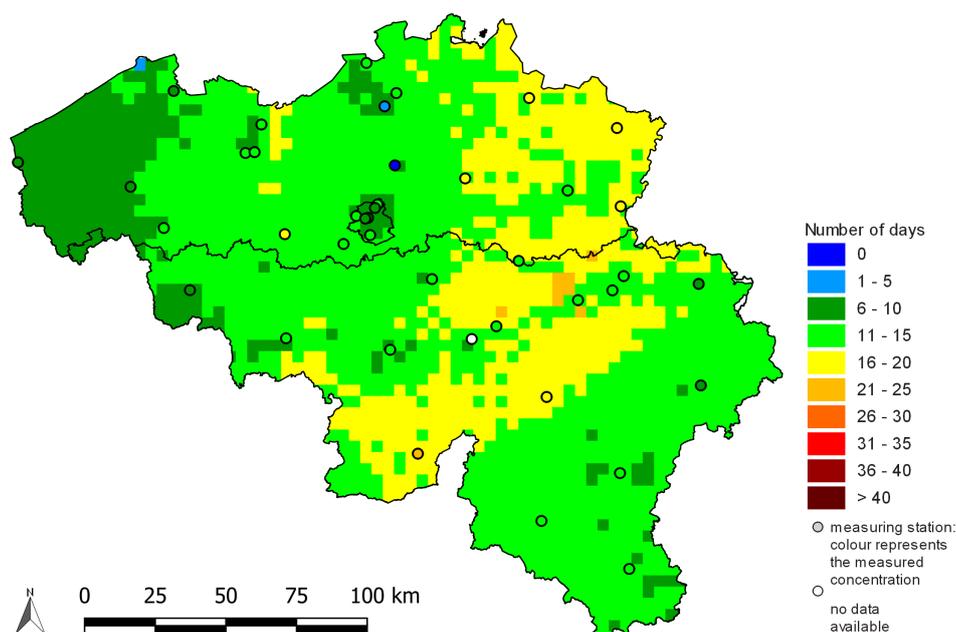


FIG. 31 : Distribution spatiale du NET60 en moyenne sur 2018, 2019 et 2021. « No data available » signifie que les données ne respectent pas les critères établis dans l'annexe VII de la directive 2008/50/CE pour l'agrégation des données de mesure. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

7.3.1 AOT40 végétation

En 2021, l'AOT40 pour la végétation est resté inférieur à la valeur cible européenne de 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h. La moyenne pondérée pour la végétation¹¹ en Belgique s'élevait à 6630 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h. Une valeur maximale de 9382 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h a été enregistrée au nord de la Flandre-Orientale. La végétation de Flandre occidentale a subi les surcharges les plus faibles. 77 % 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 35 et 36 montrent la distribution spatiale de la surcharge pour la végétation en 2021 et la moyenne sur cinq ans, période 2017–2021, respectivement. Seules les zones avec végétation (hors forêts) sont reprises sur la carte. On peut voir que la distribution spatiale est similaire à celle de la surcharge pour la population, la surcharge la plus élevée est observée à l'extrême est du pays. 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 37 montre l'évolution de la surcharge d'ozone pour la végétation en Belgique depuis 1990. Les années 1994, 2003, 2006 et 2018 se distinguent immédiatement comme étant des années pour lesquelles les concentrations d'ozone étaient défavorables pour la végétation. Durant ces années, la valeur cible de 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h est dépassée. En moyenne sur cinq ans, la surcharge pour la végétation en Belgique dépasse également la valeur cible européenne de 18 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).h dans au moins une cellule de la grille pour les années 2006, 2018 et 2019. 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

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.

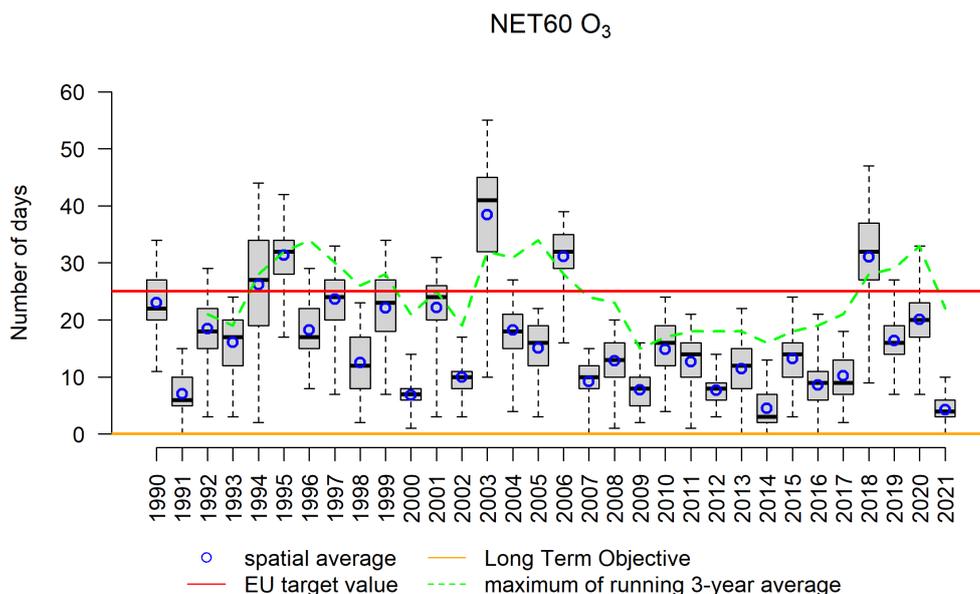


FIG. 32 : Diagramme en boîte du nombre de jours caractérisés par un maximum journalier des concentrations d’ozone en moyennes sur 8 heures $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Belgique durant la période 1990–2021. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. La ligne pointillée verte donne le 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.

ne figure dans la dernière directive concernant la surcharge pour les forêts. La précédente directive fille pour l’ozone prévoyait pourtant une valeur de référence de $20\,000 (\mu\text{g}/\text{m}^3)\cdot\text{h}$. Cette valeur de référence est 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 l’est et le sud du pays (figure 38). La plupart de la surface boisée du pays (84 %) 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 dépassé nulle part.

7.4 Moyenne annuelle d’ozone

Les concentrations moyennes annuelles d’ozone sont une mesure de la concentration de fond. La figure 39 présente la distribution spatiale sur la Belgique des concentrations moyennes annuelles d’ozone en 2021. 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 en outre inverse à celle que l’on observe pour les PM ou NO₂. 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 2021 et la période 2016–2020 ne montre en outre guère d’évolution dans cette relation (figure 40). Les concentrations annuelles moyennes en 2021 s’élevaient à $44,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $48,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $50,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement pour Bruxelles, la Flandre et la Wallonie. La moyenne pour la Belgique est quant à elle de $49,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 $45,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cela montre également la relation inverse entre la densité de population et la concentration d’ozone.

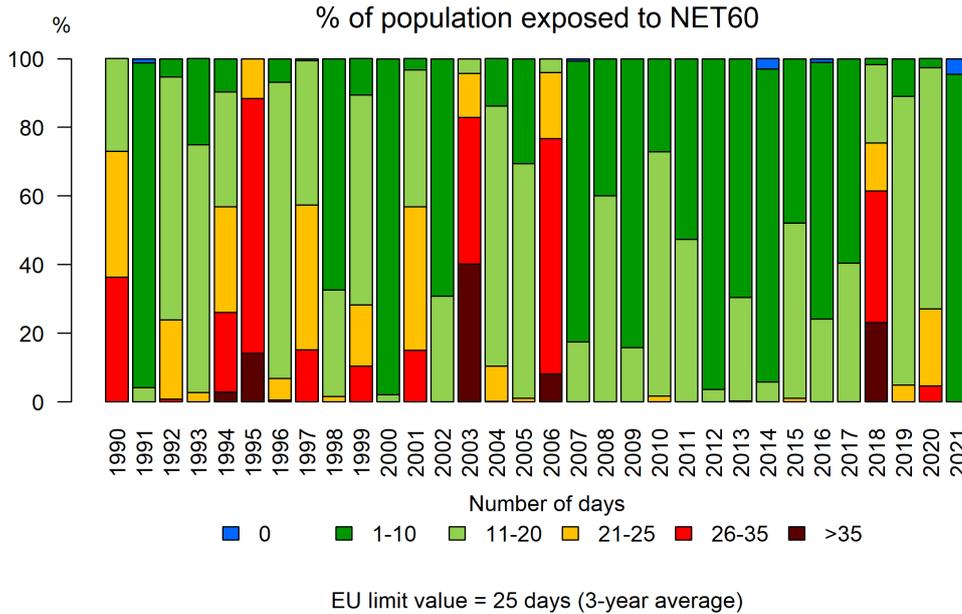


FIG. 33 : Evolution de l'exposition de la population à un nombre de jours avec un max 8h > 120 µg/m³ sur base de la technique d'interpolation RIO.

Les valeurs de la figure 39 peuvent également être représentées par un diagramme en boîte¹². La figure 41 reprend les valeurs interpolées pour 2021 et les années précédentes depuis 1997, 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, cette tendance est brisée par l'année 2021 exceptionnellement favorable à l'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 2012–2021. Ensuite, les différences entre ces deux périodes ont été calculées pour les différents centiles. la figure 42 présente cette évolution en fonction des centiles durant la période 2012–2021. On peut voir clairement sur cette figure que les concentrations représentées par le 10^{ème} au 90^{ème} centile, ont légèrement augmenté durant la période 2012–2021 par rapport à la période 1990–1999, jusqu'à atteindre parfois plus de 10 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 35 µg/m³. La tendance générale –hausse des basses concentrations et diminution des pics d'ozone– est comparable aux tendances observées dans le réseau du Programme Européen de Monitoring et d'Evaluation EMEP [13].

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

AOT60 (Belgium, 2021)

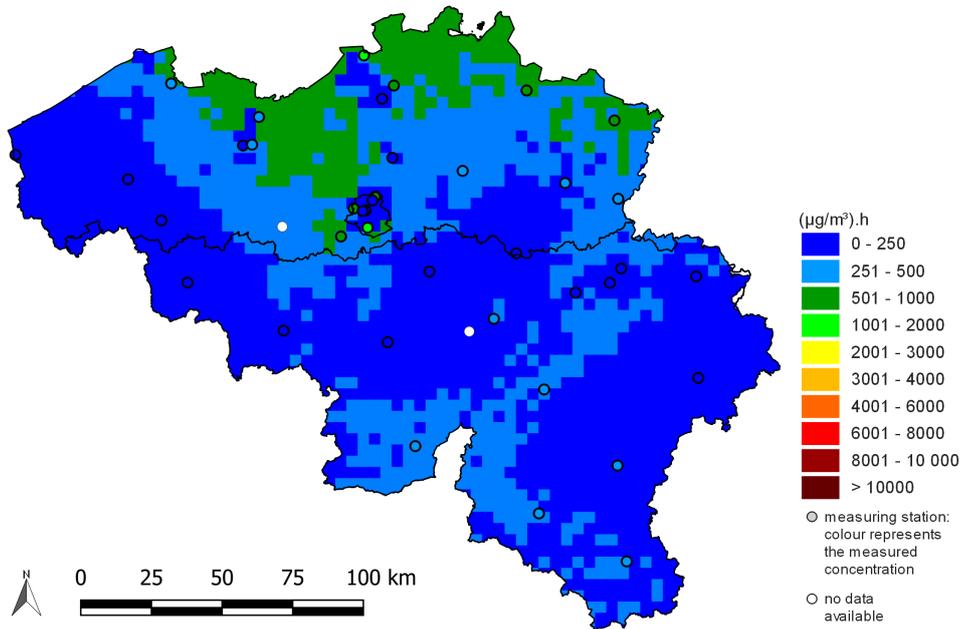


FIG. 34 : Distribution spatiale de la surcharge d’ozone (AOT60) en 2021. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

AOT40 vegetation (Belgium, 2021)

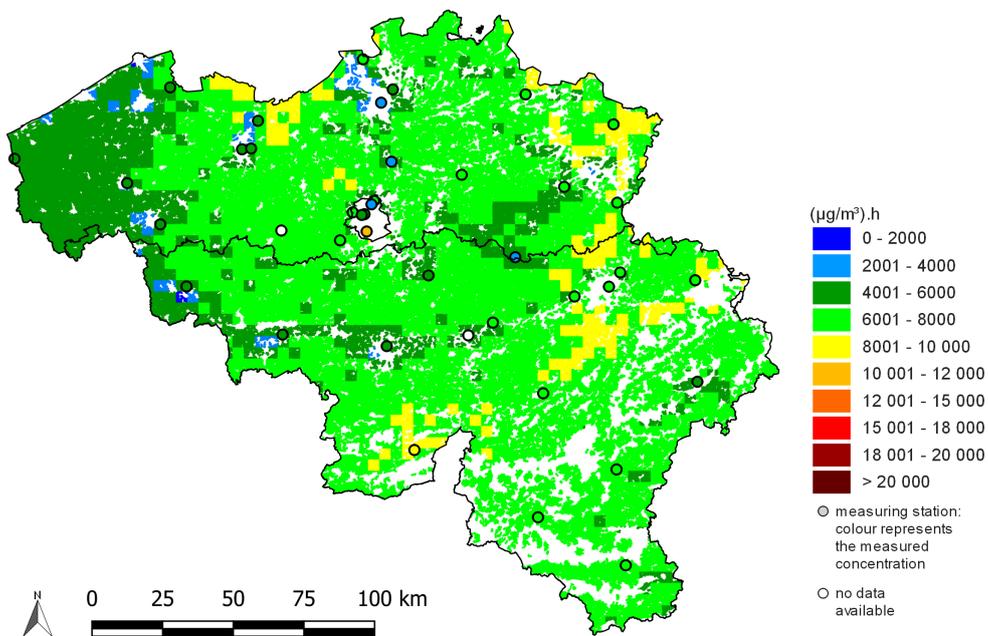


FIG. 35 : Distribution spatiale de la surcharge pour la végétation (AOT40 végétation), 2021. « No data available » signifie que les données ne respectent pas les critères établis dans l’annexe VII de la directive 2008/50/CE pour l’agrégation des données de mesure. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

AOT40 vegetation (Belgium, 2017-2021)

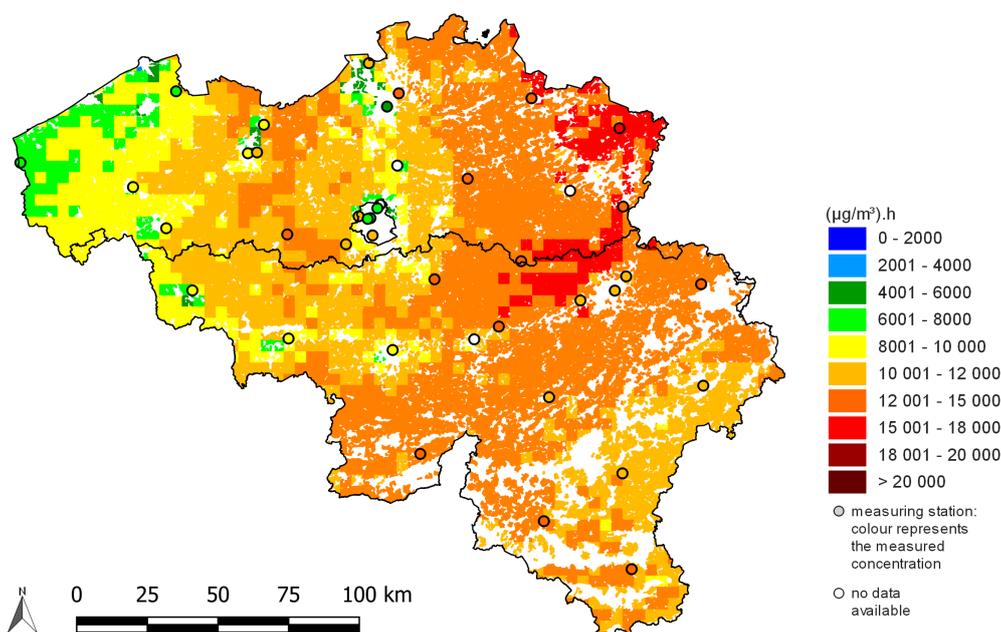


FIG. 36 : Distribution spatiale de la surcharge pour la végétation (AOT40 végétation), en moyenne sur 5 ans pour 2017–2021. « No data available » signifie que les données ne respectent pas les critères établis dans l’annexe VII de la directive 2008/50/CE pour l’agrégation des données de mesure. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

AOT40 O₃ vegetation

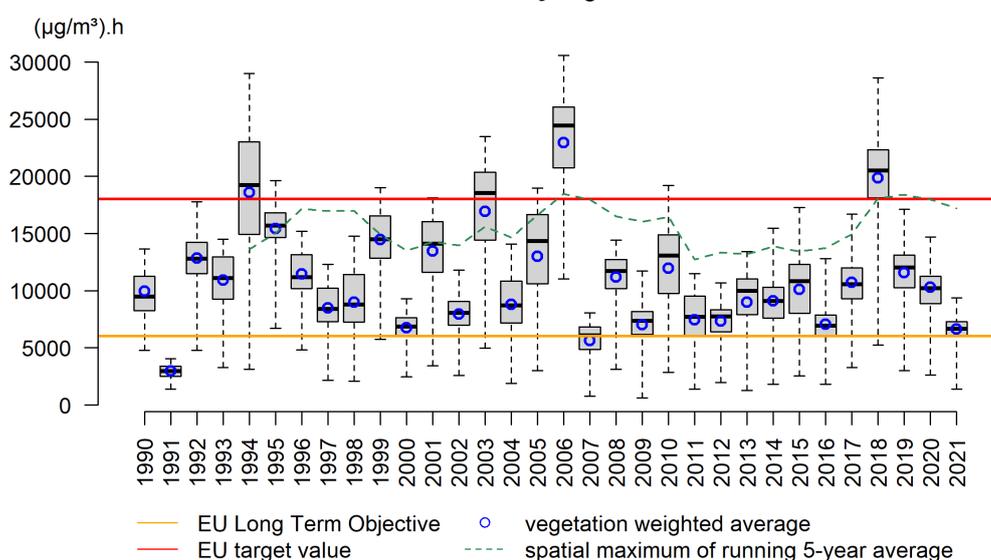


FIG. 37 : Diagramme en boîte de la surcharge pour la végétation (AOT40) en Belgique (1990–2021). Les moyennes pondérées en fonction de la végétation pour la Belgique sont représentées par les cercles bleus. La ligne pointillée verte indique la moyenne pondérée en fonction de la végétation de l’AOT40 sur 5 ans. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d’interpolation RIO.

AOT40 forest (Belgium, 2021)

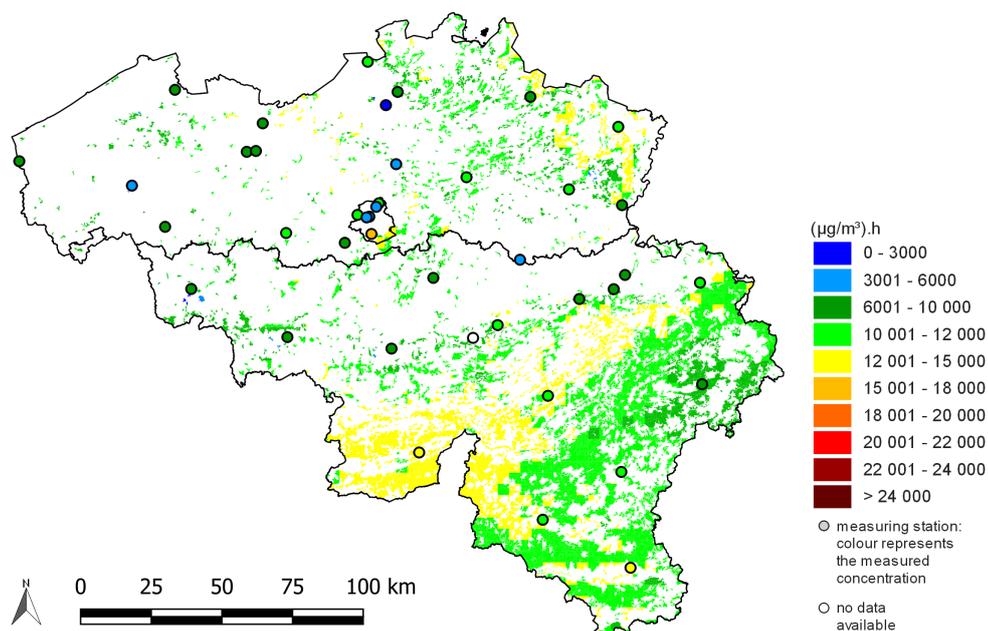


FIG. 38 : Distribution spatiale de la surcharge de zone pour les forêts (AOT40 forêts) en 2021. « No data available » signifie que les données ne respectent pas les critères établis dans l'annexe VII de la directive 2008/50/CE pour l'agrégation des données de mesure. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

Annual mean O₃ concentration (Belgium, 2021)

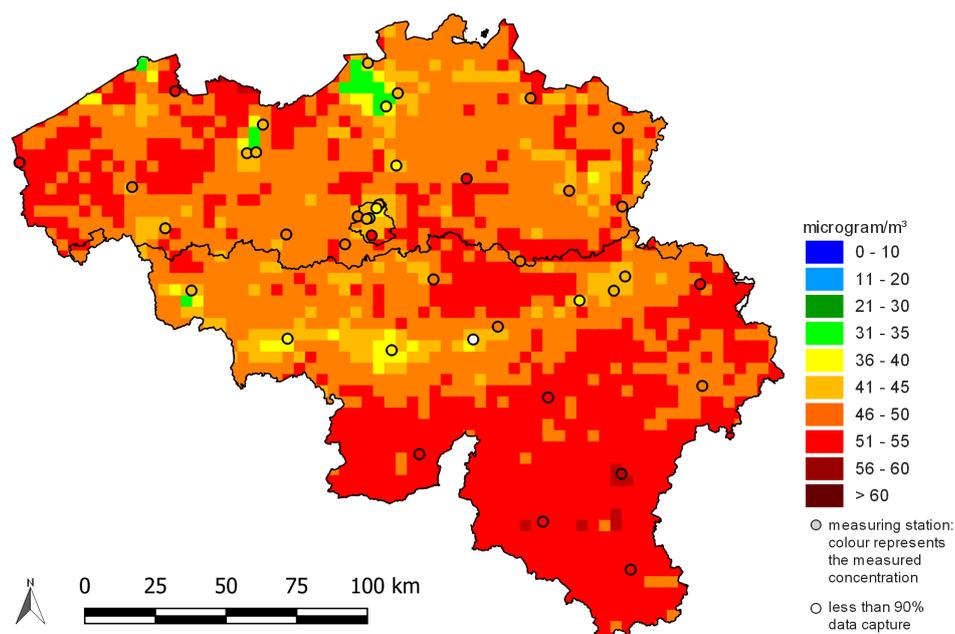


FIG. 39 : Distribution spatiale de la concentration moyenne annuelle d'O₃ en Belgique en 2021. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

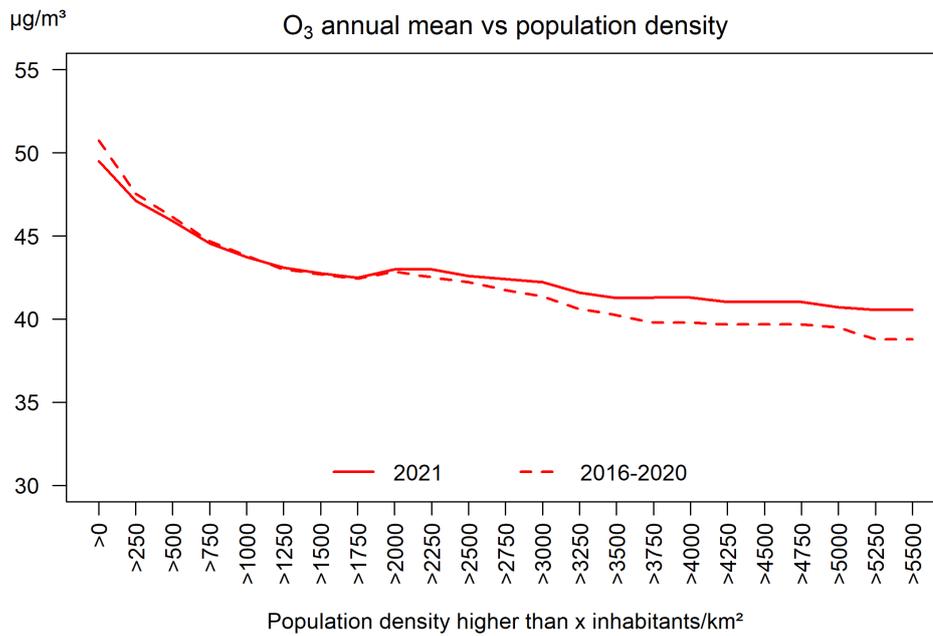


FIG. 40 : Relation entre les concentrations moyennes annuelles interpolées d'O₃ sur base de la technique d'interpolation RIO et la densité de la population (habitants/km²).

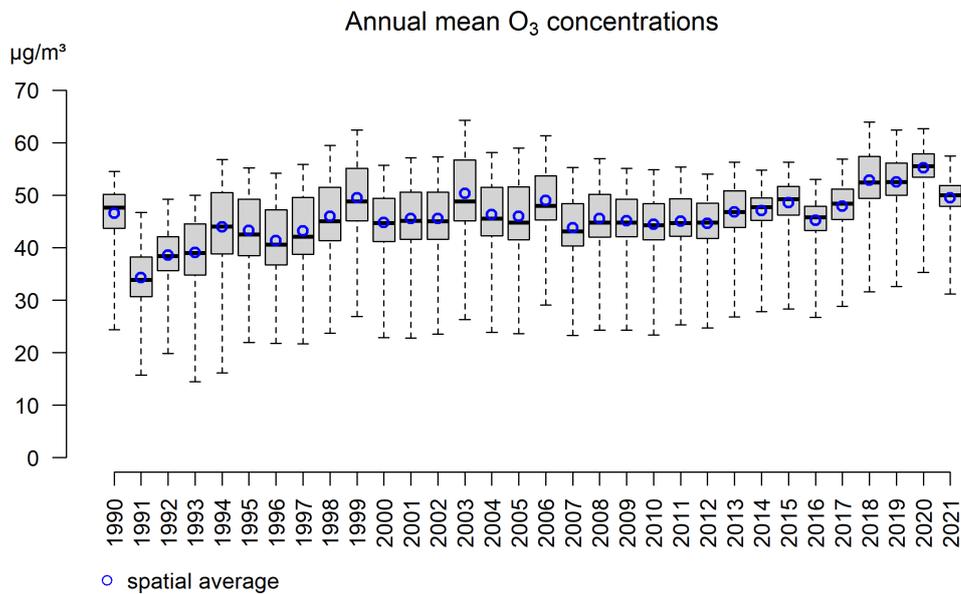


FIG. 41 : Diagramme en boîte des concentrations moyennes d'O₃ sur la période 1990–2021. La moyenne spatiale est indiquée par les cercles bleus. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

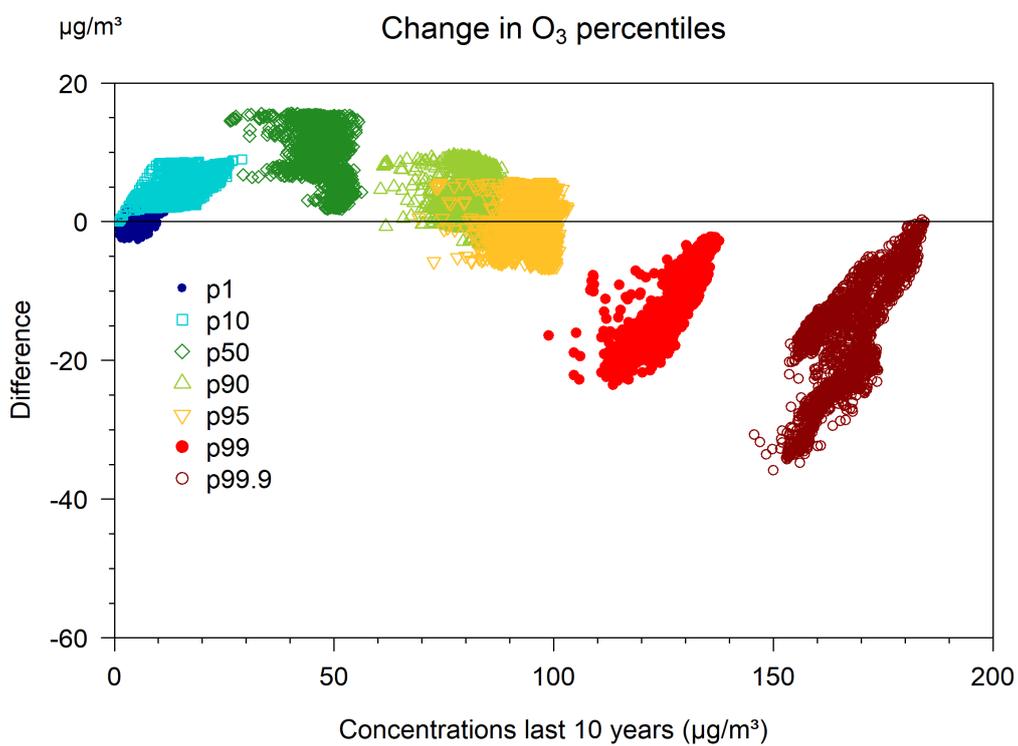


FIG. 42 : Evolution (différence entre les classes de concentrations) des centiles d'O₃ entre la période 1990–1999 et la période 2012–2021 en fonction des valeurs des centiles de la période 2012–2021 pour toutes les cellules de la grille RIO. Les données ont été générées sur base de la technique d'interpolation RIO. Les différentes couleurs indiquent les valeurs des centiles.

8 Dioxyde de soufre

Le dioxyde de soufre (SO_2) est un gaz à l'odeur caractéristique et irritant à fortes concentrations (à partir de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Le SO_2 est principalement émis dans l'atmosphère lors de la combustion de carburants fossiles contenant du soufre, comme le charbon et le pétrole brut. Les principales sources de SO_2 sont l'industrie et les raffineries, suivies par le chauffage des bâtiments et le transport. Les éruptions volcaniques sont une source naturelle de SO_2 .

Le SO_2 est nocif pour l'homme, la faune et la flore. L'inhalation de SO_2 peut occasionner des irritations des voies respiratoires même à faible concentration. Une exposition de courte durée à de fortes concentrations entraîne une réduction de la fonction pulmonaire et des problèmes respiratoires, surtout chez les asthmatiques et les personnes souffrant d'affections pulmonaires. Le SO_2 se transforme aisément en acide sulfurique (H_2SO_4) et provoque l'acidification des sols et de l'eau et affecte ainsi les écosystèmes [10]. En outre, le SO_2 est l'un des principaux responsables de la dégradation des bâtiments historiques (et des immeubles en pierre de manière générale) et de la corrosion des métaux.

Le SO_2 est également un précurseur de la formation des particules fines et peut être transporté sur de grandes distances et ainsi causer des dégâts dans des zones plus isolées.

8.1 Stations de mesure de SO_2

La figure 43 montre l'évolution du nombre de stations de mesure des concentrations de SO_2 . Le nombre de stations de mesure a diminué de 81 en 1990 à 30 en 2021. Les années où il y a moins de stations de mesure, les valeurs interpolées ont une plus grande incertitude.

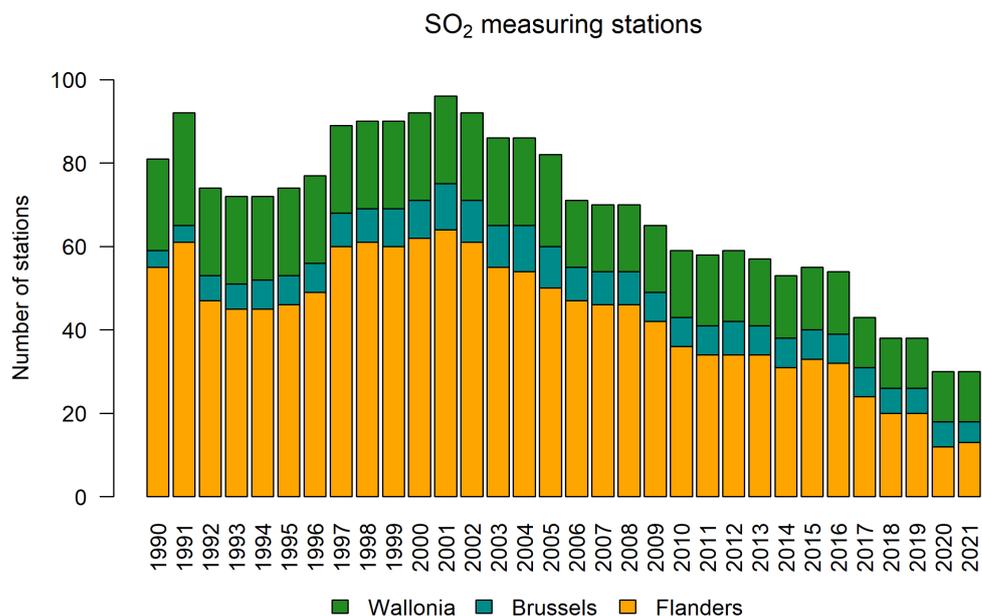


FIG. 43 : Évolution du nombre de stations de mesure de SO_2 en Belgique.

8.2 Moyennes horaires de SO_2

La directive européenne sur la qualité de l'air impose une valeur limite de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la concentration moyenne horaire de SO_2 . Cette valeur limite horaire ne peut pas être dépassée plus de 24 fois par an. Les concentrations de SO_2 présentent un caractère extrêmement local, une grande variabilité spatiale et un lien étroit avec les sources émettrices. D'autre part, du fait de la résolution de l'interpolation RIO, les dépassements locaux ne sont pas nécessairement visibles. En tout cas, en Belgique, la valeur limite horaire est largement respectée au niveau des valeurs interpolées. La figure 44 montre la 25^{ème} valeur

horaire la plus élevée de 2021 pour chaque cellule de la grille. Comme cette valeur ne dépasse $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nulle part, il n'y a aucune zone où la limite ait été dépassée plus de 24 fois en 2021.

Les valeurs de la figure 44 peuvent également être représentées dans un diagramme en boîte¹³. La figure 45 reprend les valeurs interpolées pour 2021 et les années précédentes depuis 1997, et montre l'évolution des valeurs maximale, moyenne, médiane, et minimale. Le maximum de la 25^{ème} valeur horaire la plus élevée en Belgique en 2021, représentative pour une zone de $4 \times 4 \text{ km}^2$, s'élève à $16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est largement sous la limite européenne de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le graphique de l'évolution de la 25^{ème} concentration moyenne horaire la plus élevée montre clairement une tendance à la baisse. Depuis 1997, les pics de concentration de SO_2 ont diminué de manière systématique et importante. Les dernières années, les pics de concentrations sont plus ou moins constants.

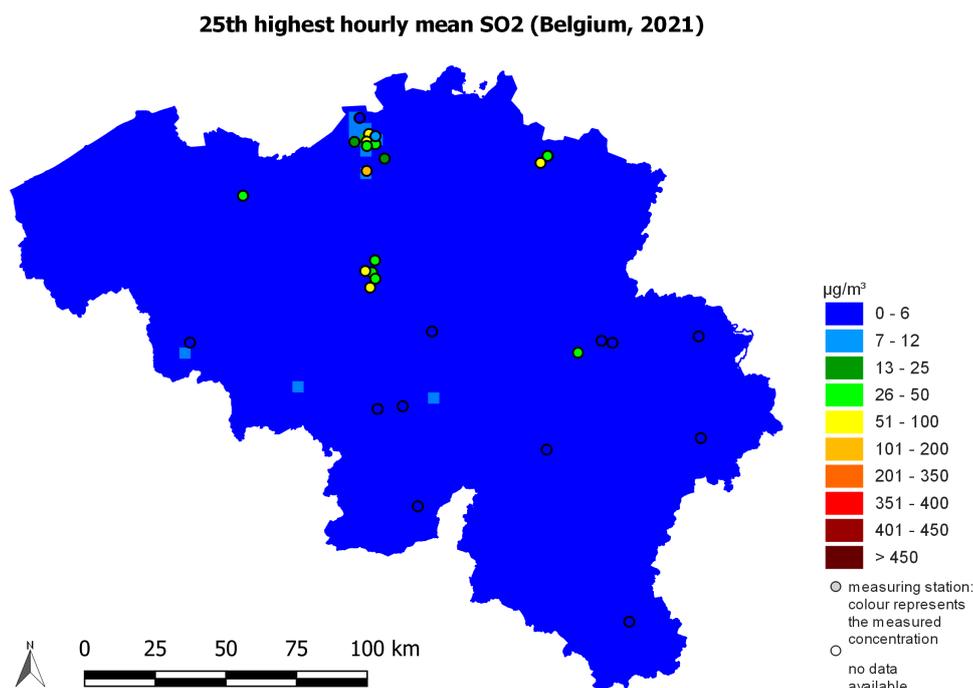


FIG. 44 : Distribution spatiale de la 25^{ème} concentration moyenne horaire de SO_2 la plus élevée. Toutes les données ont été calculées sur base de la technique d'interpolation RIO.

8.3 Moyennes journalières de SO_2

La directive européenne impose également une valeur limite pour la concentration moyenne journalière de SO_2 ayant pour but de protéger la population contre les effets à court terme du SO_2 . Cette valeur limite journalière de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ peut être dépassée au maximum trois fois par an. La norme OMS s'élève quant à elle à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La valeur limite européenne et la valeur recommandée par l'OMS sont largement respectées partout en Belgique. Comme pour les moyennes horaires de SO_2 , l'évolution des 4^{èmes} moyennes journalières les plus élevées¹⁴ montre une tendance résolument décroissante (figure 46).

8.4 Moyennes annuelles de SO_2

Afin de protéger la végétation et les écosystèmes naturels, la directive européenne prévoit également un niveau critique de concentration de SO_2 de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en moyenne annuelle et en moyenne sur la période hivernale. Cette valeur limite doit être considérée pour des stations représentatives d'une superficie de

¹³Pour l'interprétation des diagrammes en boîte, voir l'annexe C

¹⁴Comme la limite de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ peut être dépassée trois fois par an, nous regardons ici la 4^{ème} valeur journalière la plus élevée, si elle reste inférieure à la limite de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la directive est respectée.

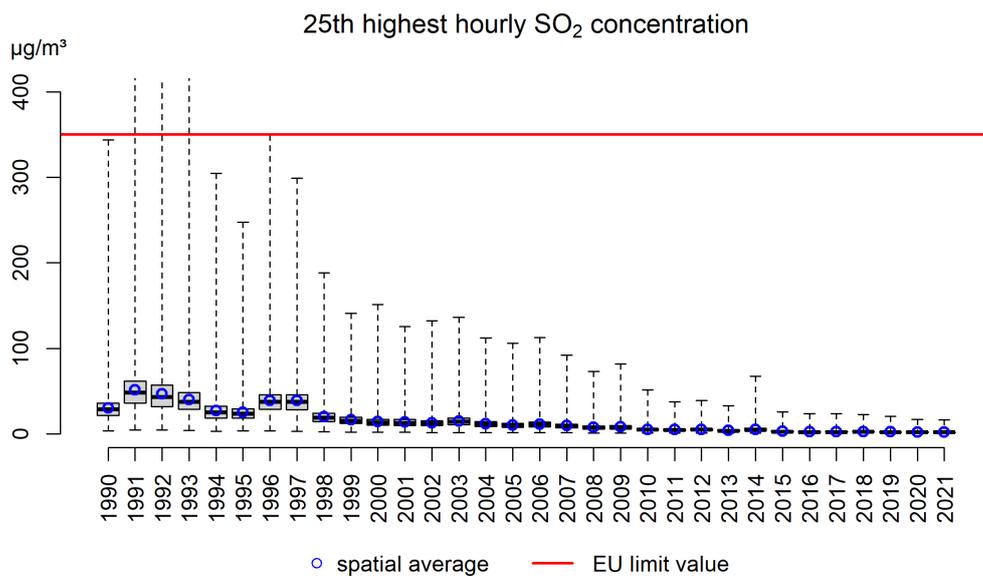


FIG. 45 : Diagramme en boîtes de la 25^{ème} concentration moyenne horaire de SO₂ la plus élevée sur la période 1990–2021 en Belgique sur base de la technique d’interpolation RIO.

1000 km², situées au minimum à 20 km d’une agglomération et au minimum à 5 km d’une zone bâtie, d’une route très fréquentée, d’une industrie,... Comme aucun site ne satisfait à ces critères en Belgique, cette norme ne s’applique pas.

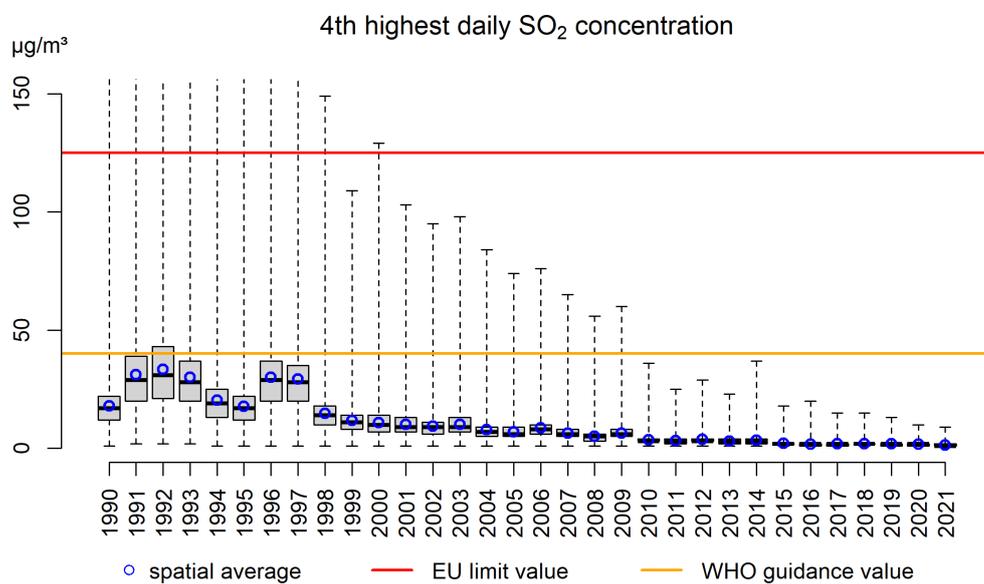


FIG. 46 : Diagramme en boîtes de la 4^{ème} concentration moyenne horaire de SO₂ la plus élevée sur la période 1990-2021 en Belgique sur base de la technique d'interpolation RIO.

9 Conclusions

Le présent rapport donne un aperçu de la qualité de l'air en Belgique pour 2021, et en particulier de la distribution spatiale des concentrations des principaux polluants (PM, NO₂, O₃ et SO₂), ainsi que l'évolution temporelle de différents indicateurs pertinents. En général, les concentrations ou les nombres de dépassements sont en baisse depuis le début des mesures, la concentration moyenne annuelle d'ozone constituant une exception. Comme le montre le tableau 1 du résumé, le minimum, la moyenne et le maximum de presque tous les indicateurs en 2021 sont inférieurs aux valeurs moyennes des dix dernières années. Sur base des séries annuelles présentées dans ce rapport, les concentrations de tous les polluants, à l'exception de l'ozone, sont en diminution sur le long terme. Cependant, entre 2020 et 2021, cette tendance ne se poursuit pas clairement pour les particules et le dioxyde d'azote. Cela s'explique en partie par le fort impact des mesures de confinement prises lors de la pandémie de COVID-19 en 2020.

2021 a été une année particulièrement pauvre en ozone ; pour la première fois depuis 1979, aucun jour de dépassement du seuil d'information horaire de 180 µg/m³ n'a été enregistré. Tous les objectifs à moyen terme pour l'ozone ont été atteints. Toutes les valeurs limites ou cibles européennes ont également été respectées pour les particules, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre.

Par rapport aux valeurs recommandées par l'OMS, plus strictes et en lien avec la santé, des dépassements ont été enregistrés pour tous les polluants, à l'exception du SO₂.

Ce rapport annuel permet de conclure que la qualité de l'air en Belgique s'est considérablement améliorée au cours des dernières décennies, mais que la majorité de la population belge est toujours exposée à des niveaux de pollution de l'air trop élevés. Cela cause 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 présentés dans ce rapport sont basés sur des calculs effectués à l'aide de la technique d'interpolation RIO, à une résolution spatiale de 4x4 km². Les résultats de ce rapport sont dès lors représentatifs de zones d'une superficie de 16 km². À proximité de sources d'émissions importantes (voies de circulation, zones industrielles...), les concentrations peuvent être localement plus élevées. 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] D. C. Carslaw and K. Ropkins. *openair — An R package for air quality data analysis*, 2012.
- [5] W. H. O. R. O. for Europe. *Air quality guidelines : global update 2005 : particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. World Health Organization. Regional Office for Europe, 2006.
- [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] W. H. Organization. *WHO global air quality guidelines : particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization, 2021.
- [10] S. Overloop, M. Bossuyt, D. Claeys, J. D’hooghe, A. Elsen, E. R., and W. H. Milieurapport vlaanderen, achtergronddocument 2011 vermessing. pages 1–111, 2011. URL <https://www.milieurapport.be>.
- [11] QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association, 2021. URL <https://www.qgis.org>.
- [12] 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/>.
- [13] 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.
- [14] VMM. Chemkar pm₁₀ : chemische karakterisatie van fijn stof in vlaanderen, 2006–2007. pages 1–168, 2009.
- [15] VMM. Chemkar pm₁₀ ‘hotspots’, chemische karakterisatie van fijn stof in vlaanderen, 2008–2009. pages 1–130, 2010.

10 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
40AL01	ANTWERPEN-LINKEROEVER	✓	✓		✓	✓	
40AL02	DOEL (ENGELSESTEENWEG)	✓	✓				
40AL03	BEVEREN	✓	✓				
40AL04	BEVEREN	✓	✓			✓	
40AL05	KALLO (SLUIS KALLO)	✓	✓			✓	
40AT44	ORDAMSTRAAT				✓		✓
40AT83	BERENDRECHT	✓	✓		✓	✓	✓
40EG05	EVERGEM (RIEME)	✓	✓			✓	
40GK11	GENK	✓	✓				
40HB23	HOBOKEN	✓	✓		✓		✓
40LD02	LAAKDAL - GEEL				✓		
40LM05	LOMMEL						✓
40LM07	LOMMEL						✓
40MN01	MENEN	✓	✓				
40OB01	OOSTROZEBEKE	✓	✓			✓	
40OB02	WIELSBEKE	✓	✓				
40R822	ANTWERPEN (HAVEN)	✓	✓		✓		✓
40R833	STABROEK				✓		
40R891	ANTWERPEN (HAVEN)				✓		✓
40R892	KALLO (SLUIS KALLO)				✓		✓
40R893	ANTWERPEN (HAVEN)				✓		✓
40R897	ANTWERPEN (HAVEN)				✓		✓
40SA04	HOEVENEN	✓	✓			✓	
40SA08	STABROEK				✓		
40SZ01	STEENOKKERZEEL	✓	✓		✓	✓	
40SZ05	STEENOKKERZEEL	✓	✓		✓	✓	
40WZ02	MOL (WEZEL)						✓
41B001	BRUSSEL (KUNST-WET)				✓		✓
41B004	BRUSSEL (SINT-KATELIJNE)			✓	✓		
41B006	BRUSSEL (EU-PARLEMENT)				✓		
41B008	BRUSSEL (BELLIARD)				✓		
41B011	SINT-AGATHA-BERCHEM	✓	✓	✓	✓		
41CHA1	GANSHOREN (KEIZER-KAREL)				✓		
41MEU1	MUEDON	✓	✓	✓	✓		
41N043	HAREN	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41R001	SINT-JANS-MOLENBEEK	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41R002	ELSENE				✓	✓	✓
41R012	UKKEL	✓	✓	✓	✓	✓	✓
41REG1	BRUSSEL (REGENTLAAN)				✓		
42HH08	HOUTHALEN-HELCHTEREN	✓	✓				
42M802	ANTWERPEN LUCHTBAL	✓	✓		✓	✓	
42N016	DESSEL	✓	✓	✓	✓	✓	
42N027	BREE			✓	✓		
42N035	AARSCHOT	✓	✓	✓	✓		
42N040	SINT-PIETERS-LEEUV			✓	✓		
42N046	GELLIK			✓	✓		
42N047	HASSELT	✓	✓	✓	✓	✓	
42N054	LANDEN	✓	✓	✓	✓		
42R020	VILVOORDE	✓	✓		✓		
42R801	ANTWERPEN	✓	✓	✓	✓	✓	✓
42R802	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R803	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	

Code	Localisation	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	BC	SO ₂
42R804	BORGERHOUT (RING)	✓	✓		✓	✓	
42R805	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R806	ANTWERPEN (MAERLANT)				✓		
42R811	SCHOTEN	✓	✓	✓	✓		
42R817	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R818	ANTWERPEN	✓	✓		✓	✓	
42R820	KAPELLEN				✓		
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	✓	✓	✓	✓		✓
43N063	CORROY LE GRAND	✓	✓	✓	✓		✓
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. DESTENAY)	✓	✓		✓	✓	
43R221	LUIK	✓	✓	✓	✓	✓	
43R222	LUIK	✓	✓	✓	✓		✓
43R223	JEMEPPE	✓	✓		✓		✓
43R240	ENGIS	✓	✓	✓	✓		✓
43R401	NAMUR	✓	✓	✓	✓	✓	
44M705	ROESELARE	✓	✓	✓	✓	✓	
44N012	MOERKERKE	✓	✓	✓	✓		
44N029	HOUTEM	✓	✓	✓	✓	✓	
44N051	IDEGEM			✓	✓		
44N052	ZWEVEGEM	✓	✓	✓	✓		
44R701	GENT	✓	✓	✓	✓	✓	
44R702	GENT	✓	✓		✓	✓	
44R703	GENT					✓	
44R710	DESTELBERGEN	✓	✓	✓	✓		
44R721	WONDELGEM				✓		✓
44R731	EVERGEM	✓	✓		✓		
44R740	SINT-KRUIS-WINKEL	✓	✓	✓	✓		
44R750	ZELZATE	✓	✓		✓	✓	
44RL01	ROESELARE (BRUGSESTEENWEG)	✓	✓				
45R501	CHARLEROI	✓	✓		✓		
45R502	LODELINSART	✓	✓	✓	✓		
45R503	CHARLEROI (PARC)	✓	✓		✓	✓	
45R510	CHATELINEAU	✓	✓				✓
45R511	MARCINELLE	✓	✓				
45R512	MARCHIENNE AU PONT	✓	✓		✓	✓	✓
47E007	SINT-PIETERS-LEEUV				✓		
47E008	GRIMBERGEN				✓		
47E009	ZEMST				✓		

Code	Localisation	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	NO ₂	BC	SO ₂
47E013	VORST				✓		
47E703	OOST-EEKLO				✓		
47E704	WACHTEBEKE				✓		
47E714	DUDZELE				✓		
47E715	ZUIENKERKE				✓		
47E716	MARIAKERKE				✓		
47E814	HAM (GENEBOSSTRAAT)				✓		
48R215	HERMALLE	✓	✓		✓	✓	
48R235	BIERSET	✓			✓		

11 Annexe B : Relevé annuel des polluants atmosphériques

Spatial maximum of the daily mean PM₁₀ concentrations in 2021

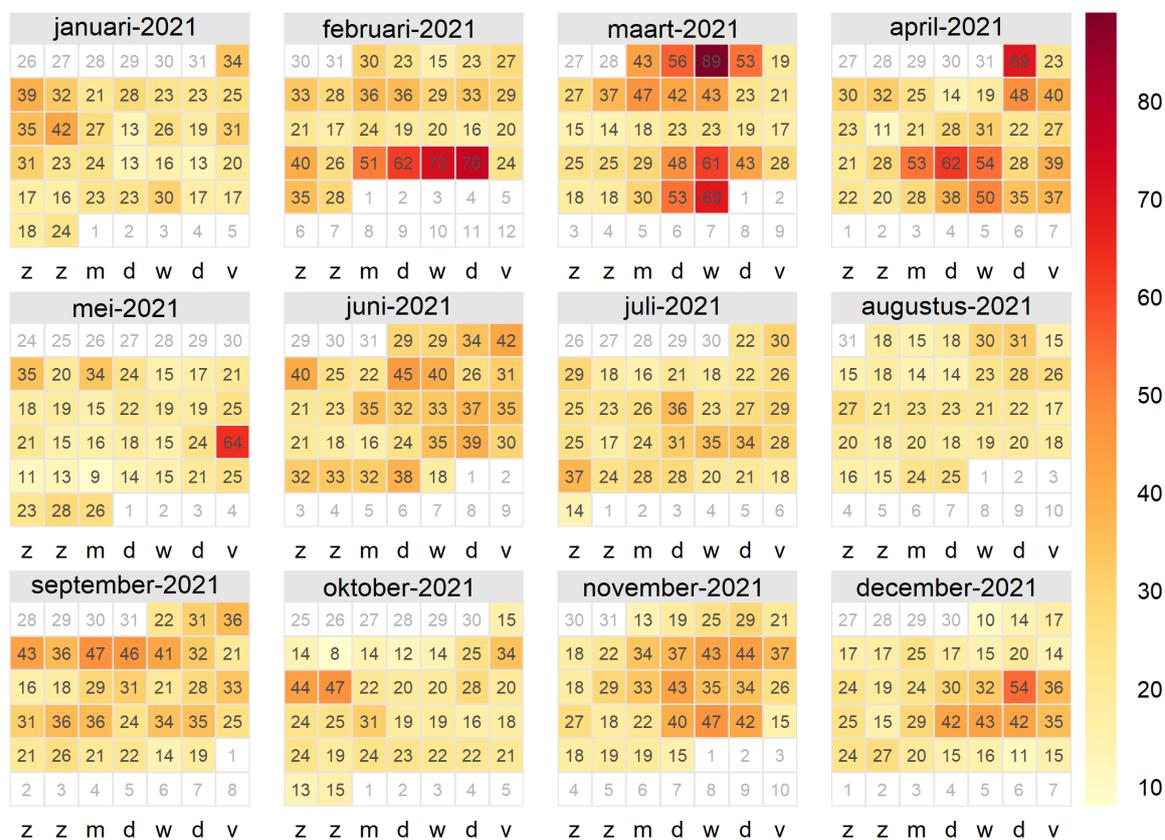


FIG. 47 : Maximum (sur la Belgique) de la moyenne journalière de PM₁₀ en 2021.

Spatial maximum of the daily mean PM_{2.5} concentrations in 2021

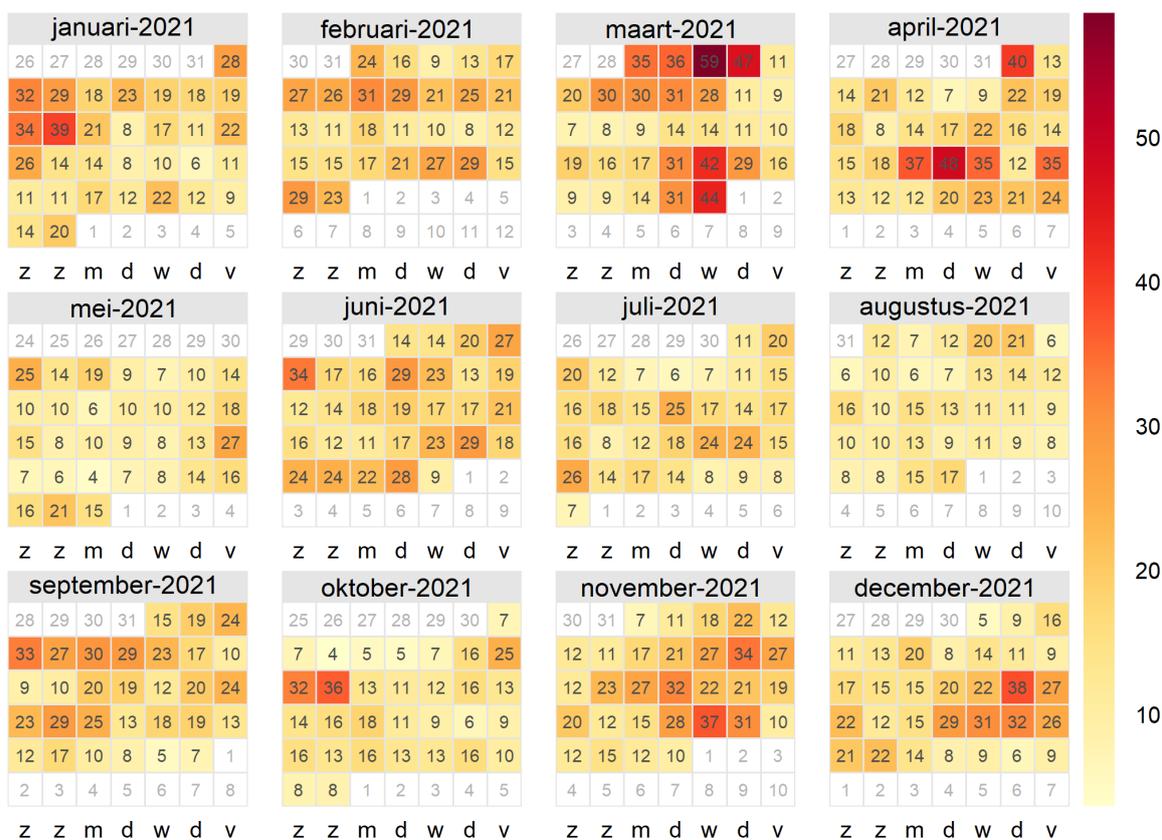


FIG. 48 : Maximum (sur la Belgique) de la moyenne journalière de PM_{2.5} en 2021.

Spatial maximum of the highest hourly NO₂ concentrations per day in 2021

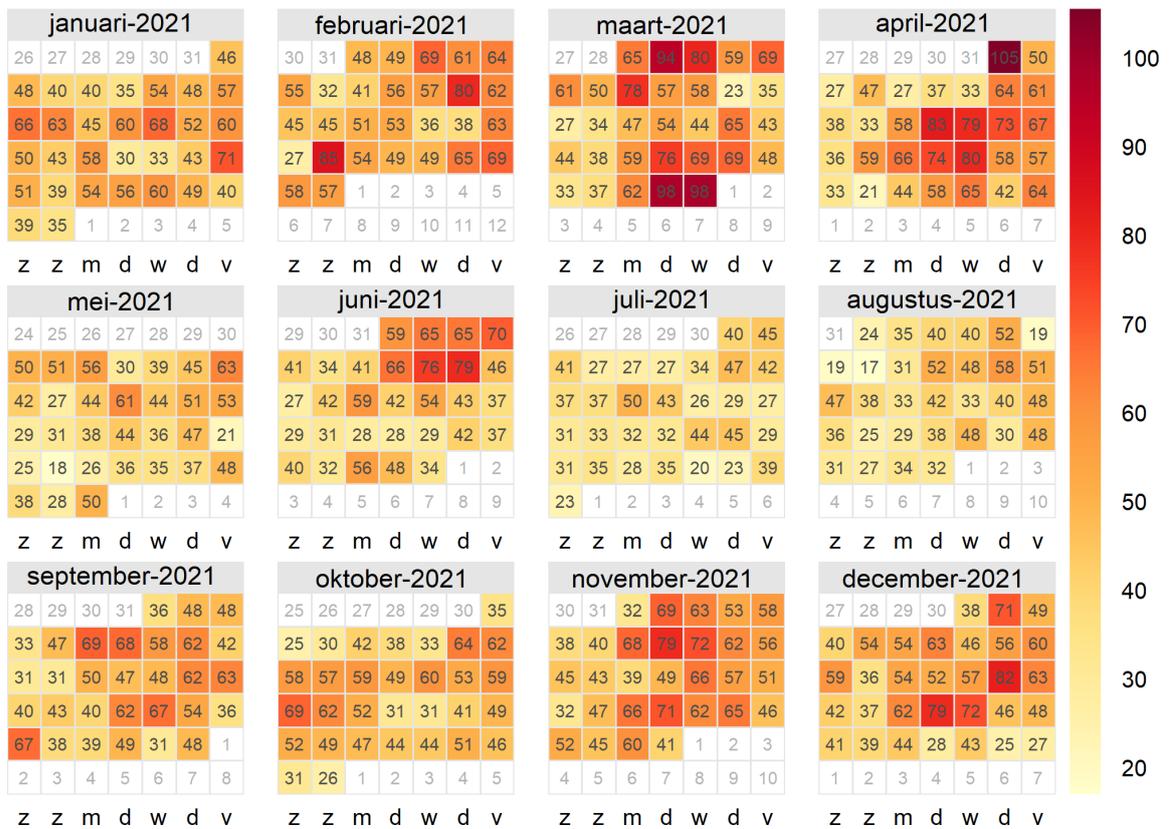


FIG. 49 : Maximum spatial des concentrations horaires maximales de NO₂ par jour en 2021.

Spatial maximum of the highest hourly O₃ concentrations per day in 2021

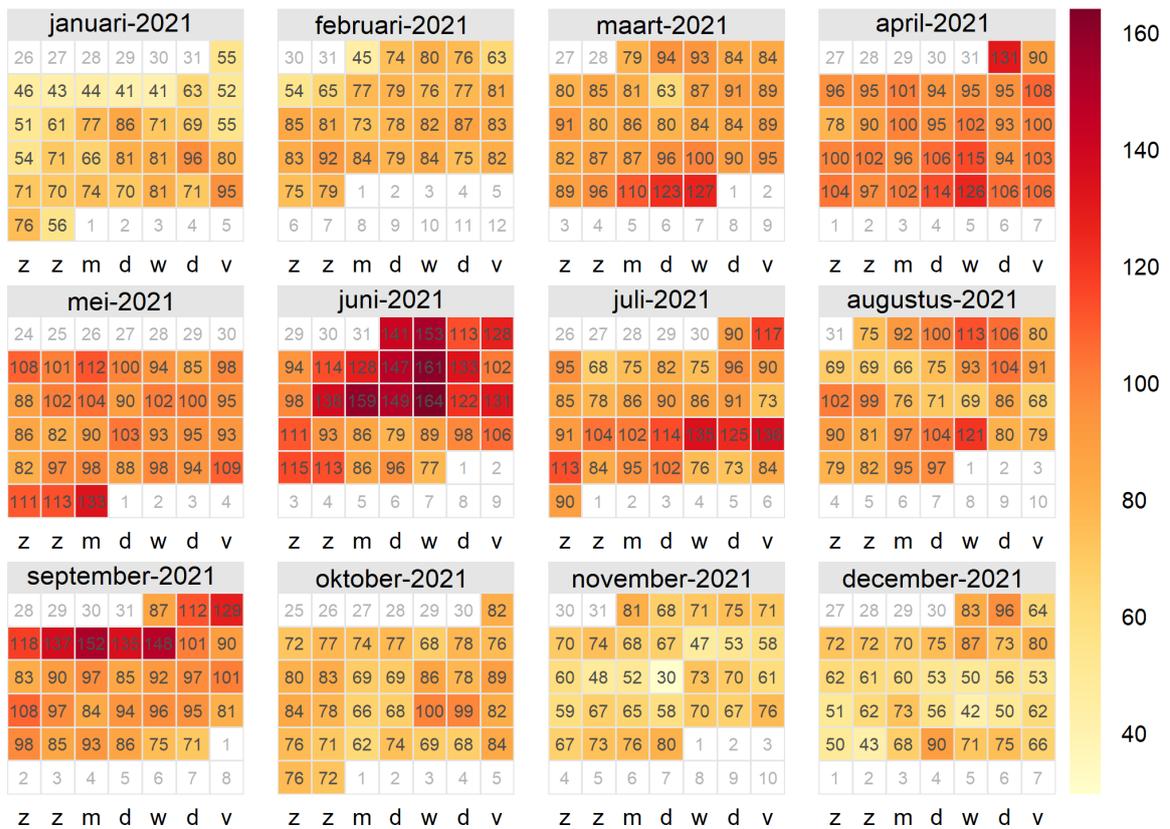


FIG. 50 : Maximum spatial des concentrations horaires maximales de O₃ par jour en 2021.

12 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.

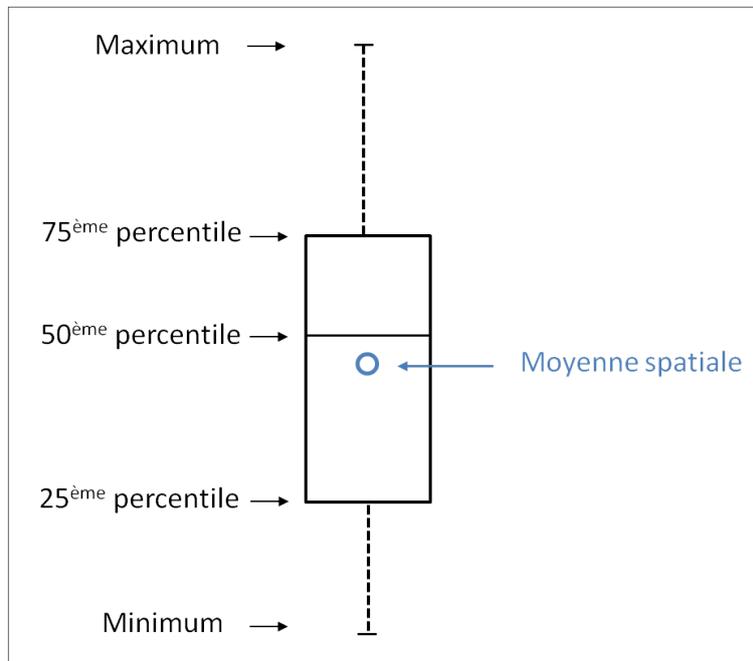


FIG. 51 : Présentation d'un diagramme en boîtes.

13 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.

Error on PM10 annual mean (Belgium, 2021)

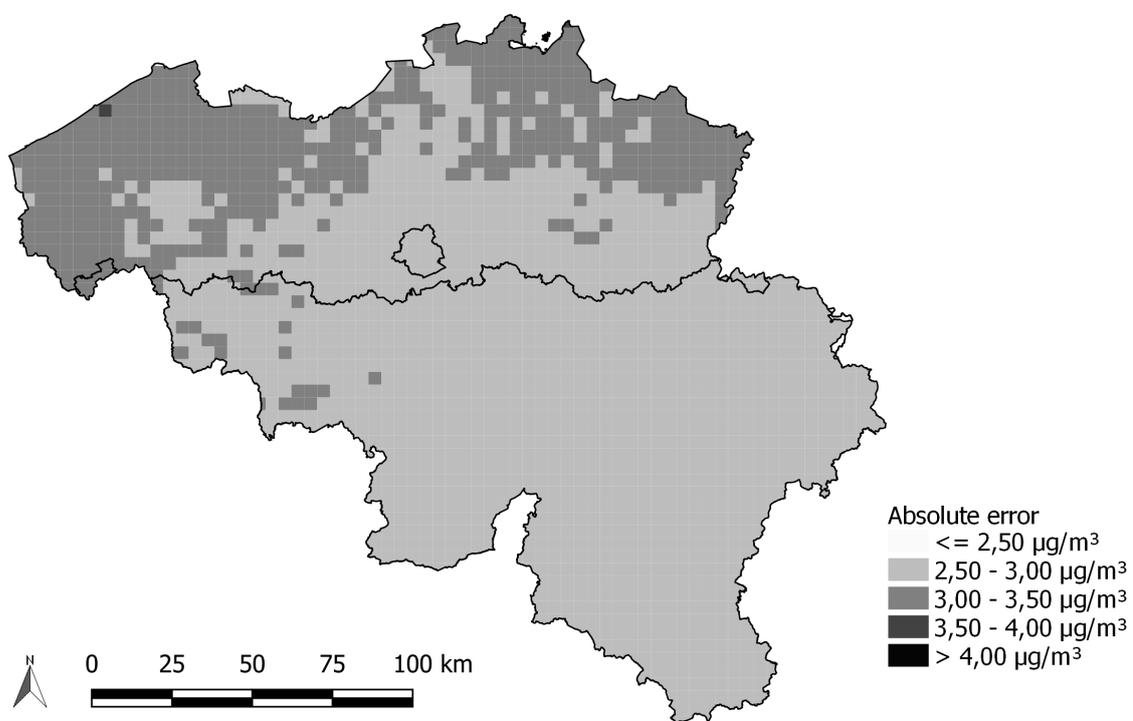


FIG. 52 : Distribution spatiale de l'erreur absolue ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour la concentration moyenne annuelle de PM₁₀

Error on NO2 annual mean (Belgium, 2021)

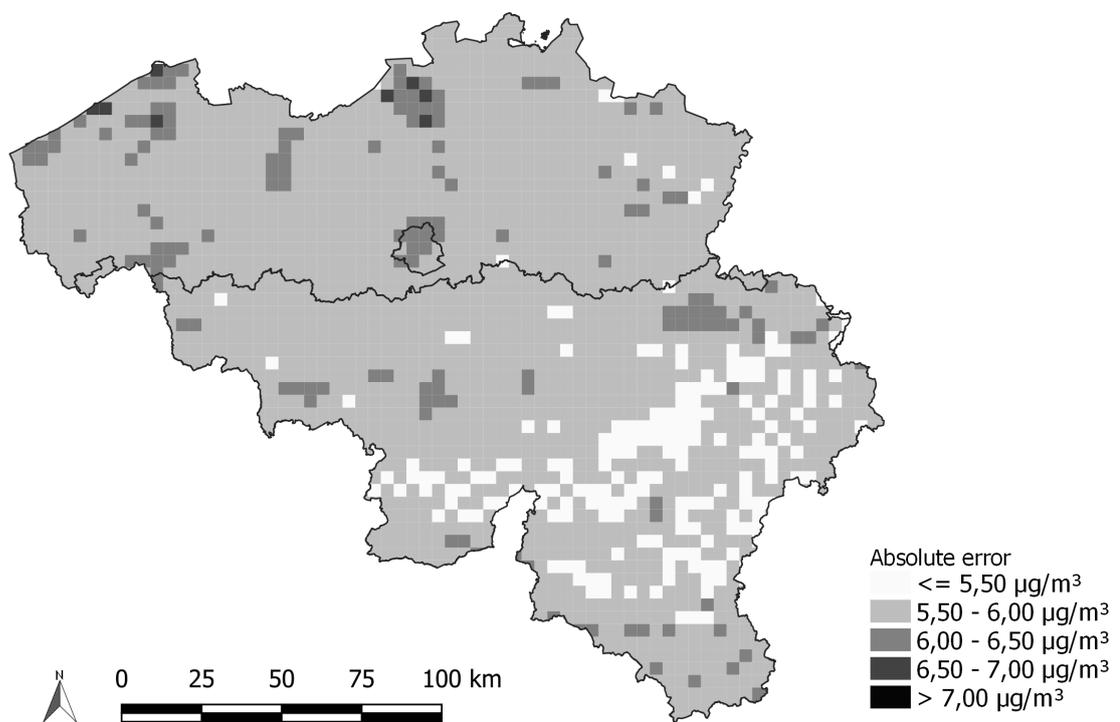


FIG. 53 : Distribution spatiale de l'erreur absolue ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour la concentration moyenne annuelle de NO₂.

Error on O3 annual mean (Belgium, 2021)

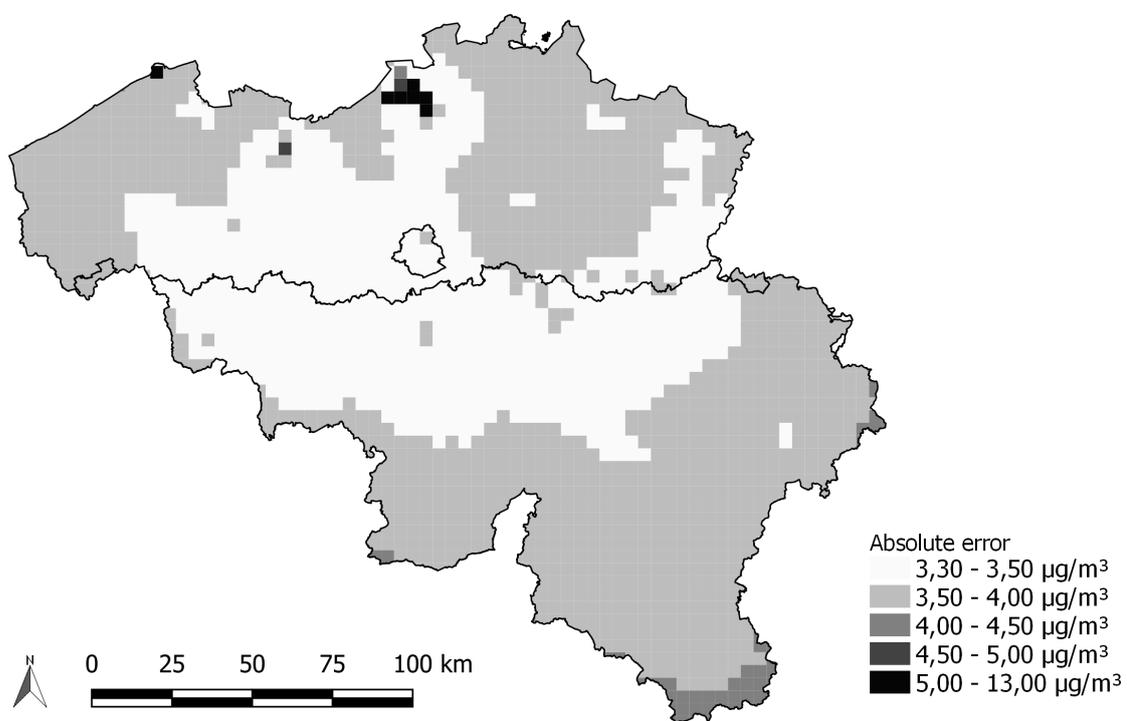


FIG. 54 : Distribution spatiale de l'erreur absolue ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour la concentration moyenne annuelle de O₃.