

LA QUALITÉ DE L'AIR EN RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE

RAPPORT ANNUEL 2021

JUIN 2022

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	5
1 Introduction	11
1.1 Contexte	11
1.2 Concentrations à l'immission et émissions	11
1.3 Réglementation européenne	12
1.4 Valeurs recommandées par l'OMS	12
1.5 Objectifs du rapport	12
2 Réseau de mesures téléométriques	17
2.1 Historique du réseau de mesures	17
2.2 Stations et types d'environnement	17
2.3 Polluants mesurés par station	17
2.4 Descriptif des stations	18
3 Oxydes d'azote	23
3.1 Nature du polluant	23
3.2 Réglementation européenne et valeurs recommandées par l'OMS	24
3.3 Mesures actuelles	24
3.4 Mesures historiques	26
4 Particules en suspension	31
4.1 Nature du polluant	31
4.2 Réglementation européenne et valeurs recommandées par l'OMS	32
4.3 Mesures actuelles de PM ₁₀	32
4.4 Mesures historiques de PM ₁₀	33
4.5 Mesures actuelles de PM _{2,5}	36
4.6 Mesures historiques de PM _{2,5}	38
5 Ozone	43
5.1 Nature du polluant	43
5.2 Réglementation européenne et valeurs recommandées par l'OMS	44
5.3 Mesures actuelles	45
5.4 Mesures historiques	47
6 Black carbon	51
6.1 Nature du polluant	51
6.2 Mesures actuelles	52
6.3 Mesures historiques	52
7 Dioxyde de soufre	55
7.1 Nature du polluant	55
7.2 Réglementation européenne et valeurs recommandées par l'OMS	55
7.3 Mesures historiques	56
8 Monoxyde de carbone	59
8.1 Nature du polluant	59
8.2 Réglementation européenne	59
8.3 Mesures actuelles	59
8.4 Mesures historiques	59



9 Conclusions	63
A Méthodologie de calcul	65
A.1 Saisie minimale de données	65
A.2 Boîtes à moustaches	65
Définitions	67
Unités, acronymes et codes des stations	69
Unités	69
Acronymes	69
Codes des stations	69
Bibliographie	71



RÉSUMÉ

En 2021, on observe un retour à la normale dans l'évolution des concentrations de polluants, par rapport à l'année exceptionnelle de 2020. En effet, en 2020, les concentrations de polluants primaires avaient diminué de manière drastique en raison des mesures mises en place dans le cadre de la pandémie de COVID-19, qui avaient fortement réduit l'activité et en particulier l'intensité du trafic routier.

À côté de ce constat, les mesures de réduction des émissions et les améliorations technologiques ont poursuivi leur contribution à la réduction des concentrations au cours du temps. Ces dernières années, l'évolution des émissions du trafic, en particulier liée à l'accélération de la transition du diesel vers l'essence, a très probablement joué un rôle significatif.

En 2021, deux nouvelles stations de mesure ont été mises en service dans le réseau télémétrique bruxellois :

- la station du boulevard du Régent (41REG1), station urbaine très fortement influencée par le trafic routier, en septembre 2021,
- la station de Ganshoren (41CHA1), station urbaine fortement influencée par le trafic routier, en octobre 2021.

Ces stations ne disposent donc pas des saisies annuelles de données nécessaires pour calculer les différents indicateurs statistiques de manière représentative, mais les résultats horaires et journaliers sont néanmoins présentés à titre indicatif dans ce rapport.

DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)

La concentration moyenne annuelle en NO₂ à chaque station en 2021 est présentée sur la Figure 1. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées aux stations d'Arts-Loi (41B001), de Belliard (41B008) et d'Ixelles (41R002). Pour la seconde année consécutive, toutes les stations en RBC respectent la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³.

La concentration horaire maximale pour l'année 2021 est présentée sur la Figure 2. La valeur la plus élevée a été enregistrée à la station d'Arts-Loi. La valeur limite européenne de 200 µg/m³ en moyenne horaire, avec 18 dépassements autorisés, est respectée à toutes les stations de la RBC depuis plus de 10 ans. La valeur horaire recommandée par l'OMS, de 200 µg/m³ également mais avec aucun dépassement autorisé, est également respectée en 2021.

Sur la Figure 3 sont présentés les nombres de dépassements de la nouvelle valeur journalière recommandée par l'OMS de 25 µg/m³ (avec 3 à 4 dépassements selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99). On peut voir que cette valeur journalière est très fréquemment dépassée dans tous les sites de mesure en RBC, en particulier dans les sites urbains fortement et très fortement influencés par le trafic routier.

PARTICULES FINES PM₁₀

La concentration moyenne annuelle de PM₁₀ par station en 2021 est présentée sur la Figure 4. On peut constater que la valeur limite européenne de 40 µg/m³ en moyenne annuelle est largement respectée pour toutes les stations de mesure. La valeur annuelle recommandée par l'OMS en 2021 de 15 µg/m³ est quant à elle respectée uniquement dans les stations de fond urbain de Berchem-Sainte-Agathe (41B011) et d'Uccle (41R012).

Le nombre de jours de dépassement de la valeur limite journalière européenne de 50 µg/m³ (à ne pas dépasser plus de 35 fois par an) et de la valeur journalière recommandée par l'OMS en 2021 de 45 µg/m³ (avec 3 à 4 dépassements selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99) sont présentés sur la Figure 5. On peut constater que toutes les stations respectent largement la valeur limite journalière européenne et que la valeur journalière recommandée par l'OMS est dépassée nettement à la station de Haren (41N043) et également à la station de Neder-Over-Heembeek (41MEU1), qui ne dispose néanmoins pas des 85% de saisie de données requis pour conclure sur le nombre exact de dépassements.



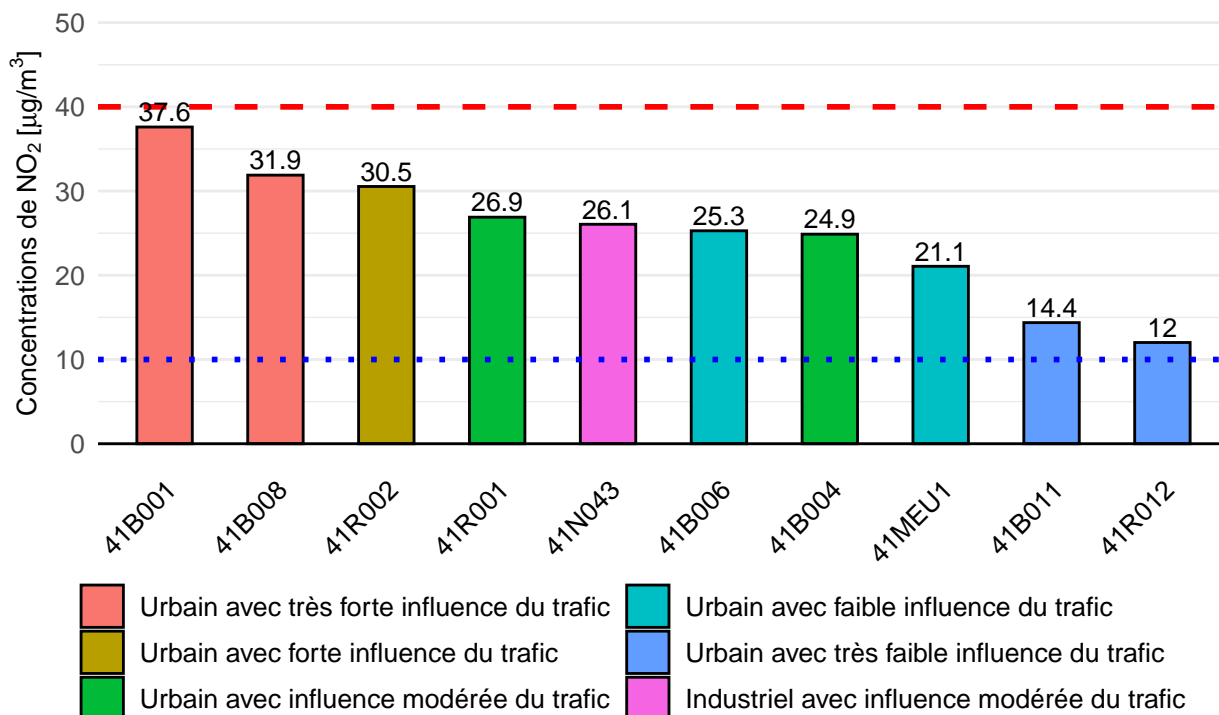


Figure 1 – Concentrations moyennes annuelles de NO₂ pour chaque station de la RBC en 2021 [µg/m³]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne identique à la précédente valeur recommandée par l’OMS de 2005 et la valeur annuelle recommandée par l’OMS de 2021 est indiquée par le trait pointillé bleu. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18). Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée.

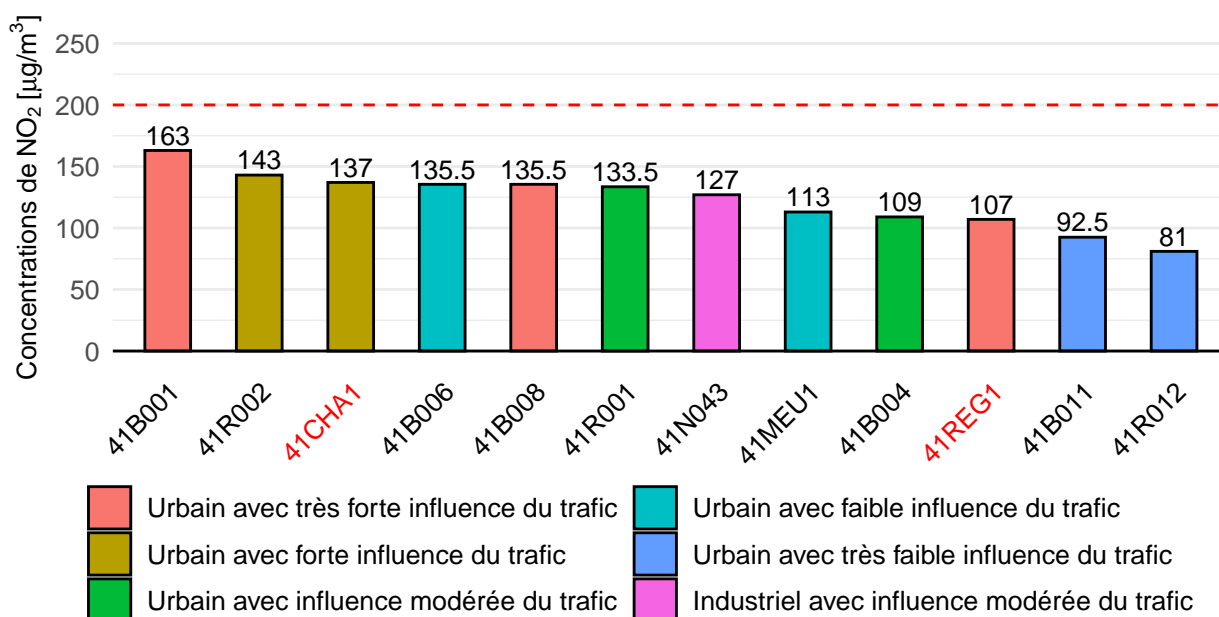


Figure 2 – Concentrations horaires maximales de NO₂ pour chaque station de la RBC en 2021 [µg/m³]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite horaire européenne de 200 µg/m³ (18 dépassements autorisés) identique à la valeur guide de l’OMS (mais avec aucun dépassement autorisé). Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18).

PARTICULES FINES PM_{2.5}

La concentration moyenne annuelle de PM_{2.5} par station en 2021 est présentée sur la Figure 6. On peut y voir que la valeur limite européenne de 25 µg/m³ en moyenne annuelle est largement respectée pour toutes les stations de mesure. La valeur annuelle recommandée par l’OMS en 2021 de 5 µg/m³, extrêmement stricte, n’est respectée nulle part en RBC en 2021.



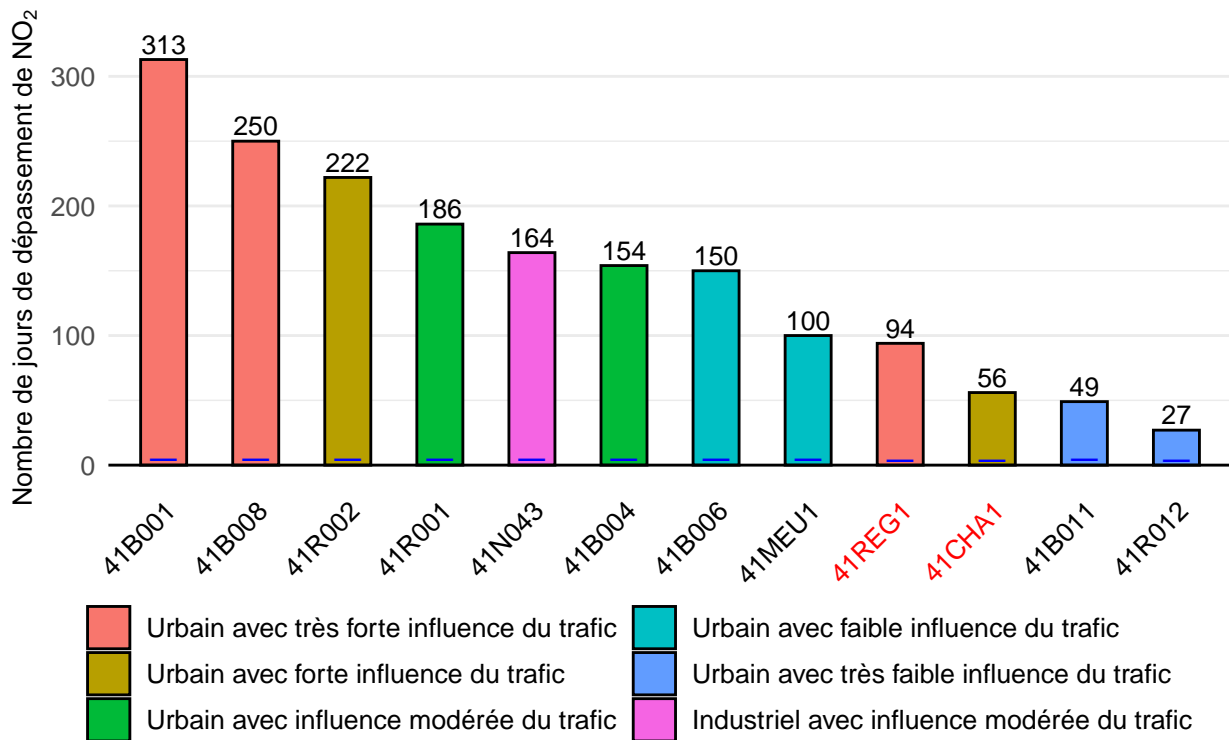


Figure 3 – Nombre de jours de dépassement des concentrations de NO₂ de la valeur limite journalière de 25 µg/m³ pour chaque station de la RBC en 2021. Le nombre de jours de dépassements recommandés par l’OMS (3 à 4 selon la saisie annuelle de données) est indiqué par le trait bleu sur les bâtonnets. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18).

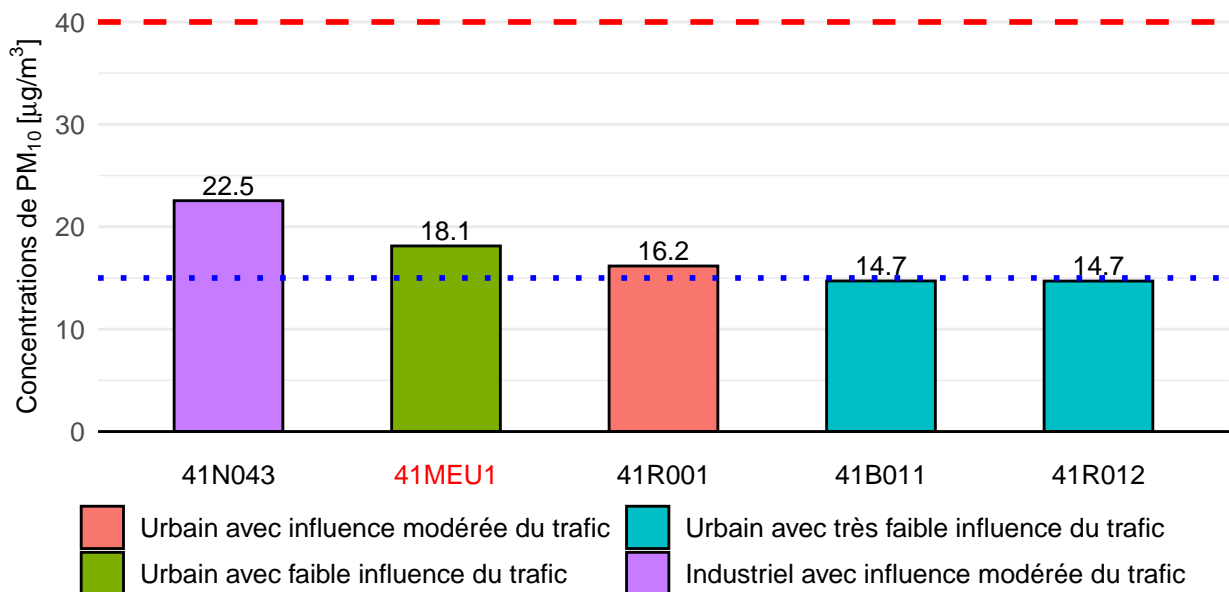


Figure 4 – Concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ pour chaque station de la RBC en 2021 [µg/m³]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l’OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18).

La directive européenne 2008/50/CE ne prévoit pas de valeur journalière pour les PM_{2.5}. Seule l’OMS recommande une valeur journalière de 15 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 3 à 4 fois par an, selon la saisie annuelle de données. Le nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l’OMS pour les PM_{2.5} est présentée sur la Figure 7. Cette valeur est dépassée largement pour toutes les stations de la RBC en 2021, y compris dans les stations urbaines de fond.

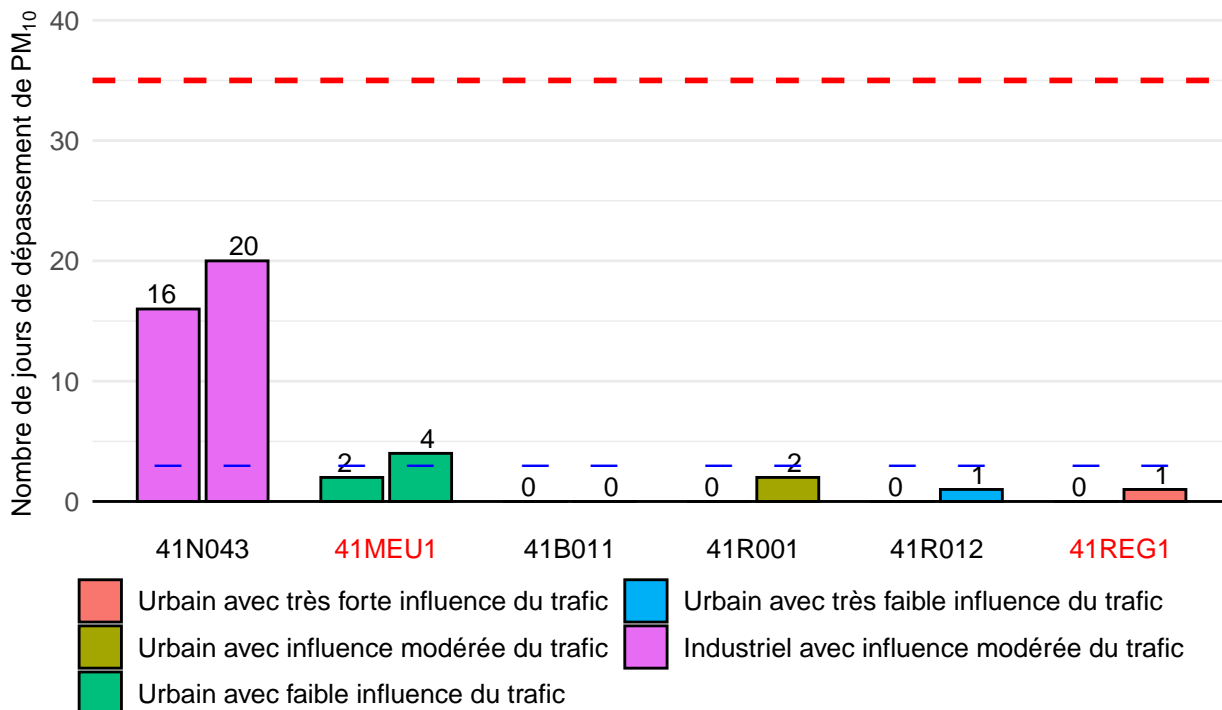


Figure 5 – Nombre de jours de dépassement des concentrations de PM_{10} de la valeur limite journalière pour chaque station de la RBC en 2021. Le nombre de jours de dépassement autorisés par la directive européenne 2008/50/CE (35) est indiqué par le trait pointillé rouge et le nombre de dépassements recommandés par l'OMS (3 à 4, selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99) est indiqué par le trait bleu dans les bâtonnets. Les bâtonnets de gauche correspondent à la valeur limite journalière européenne ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondant à la précédente valeur recommandée par l'OMS de 2005 (mais avec 3 dépassements) et les bâtonnets de droite correspondent à la nouvelle valeur limite journalière ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) recommandée par l'OMS en 2021 (avec 3 à 4 dépassements). Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18).

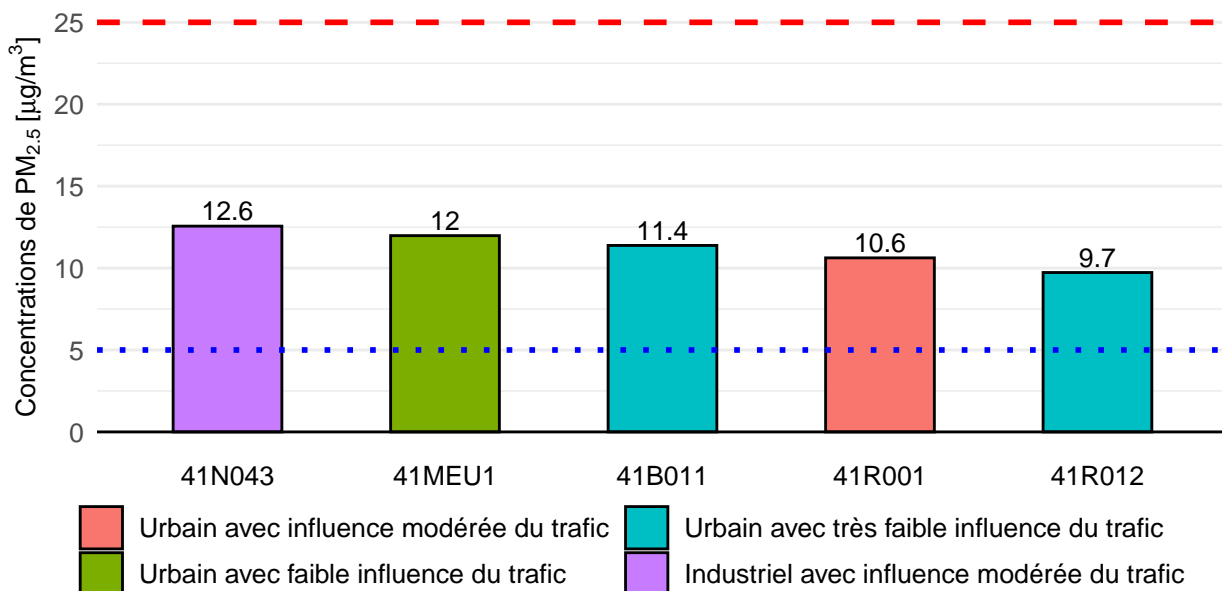


Figure 6 – Concentrations moyennes annuelles de $PM_{2.5}$ pour chaque station de la RBC en 2021 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l'OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18).

OZONE (O_3)

Le nombre de jours de dépassement du seuil de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures de la concentration en ozone est présenté sur la Figure 8, pour l'année 2021 ainsi qu'en moyenne sur les



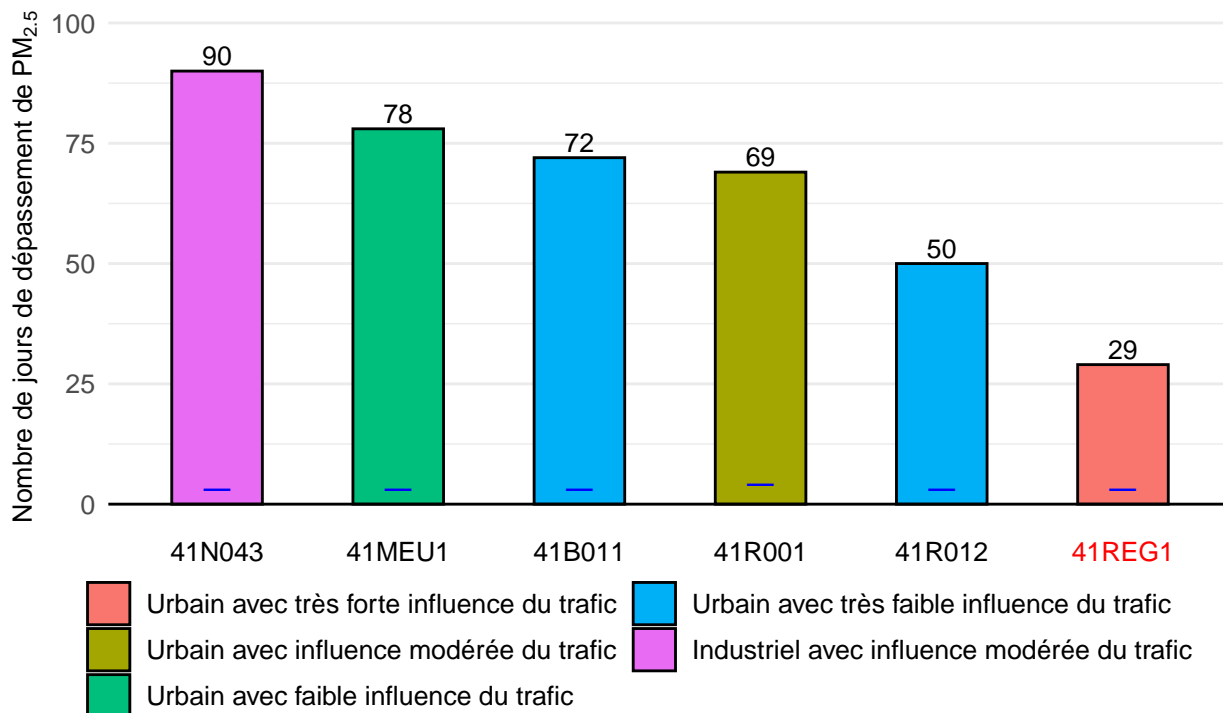


Figure 7 – Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l’OMS pour les $PM_{2.5}$ de $15 \mu g/m^3$ pour chaque station de la RBC en 2021. Le nombre de dépassements recommandés par l’OMS (3 à 4) est indiqué par le trait bleu dans les bâtonnets. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18).

trois dernières années (2019-2020-2021). On peut directement constater que la valeur cible n’est pas dépassée en RBC (soit la moyenne sur trois ans, les bâtonnets de droite).

Les nombres de jours de dépassements du maximum journalier obtenus spécifiquement pour l’année 2021 sont également indiqués par les bâtonnets de gauche. Les stations les moins exposées au trafic routier, Uccle (41R012), Berchem-Sainte-Agathe (41B011) et Neder-Over-Heembeek (41MEU1), présentent les valeurs les plus élevées, alors que les stations avec influence modérée du trafic présentent des valeurs nettement plus faibles.

A contrario, la valeur recommandée par l’OMS (aucun dépassement du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures du seuil de $100 \mu g/m^3$) n’est respectée à aucune station de mesure en RBC.

L’OMS fournit en 2021 une nouvelle valeur recommandée pour la période de pics d’ozone. La période de référence est définie comme la moyenne glissante sur 6 mois présentant la moyenne la plus élevée de l’année. En 2021, la période de référence s’étend de mars à août pour toutes les stations de mesure, sauf pour la station de Neder-Over-Heembeek pour laquelle il s’agit de la période d’avril à septembre. La moyenne des maxima journaliers de la moyenne glissante sur 8 heures sur cette période de référence est présentée sur la Figure 9. On peut constater que celle-ci est dépassée à toutes les stations de mesure de la RBC, même dans les stations les plus influencées par le trafic routier.

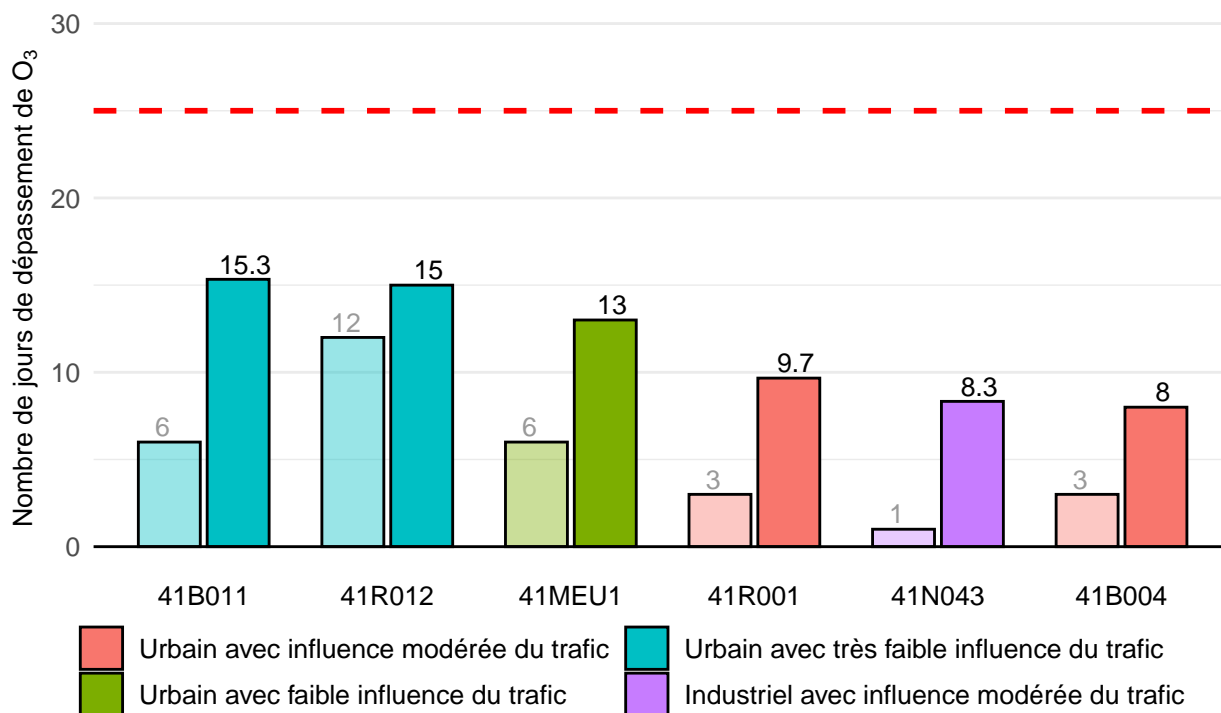


Figure 8 – Nombre de jours de dépassement du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures des concentrations de O₃ pour chaque station de la RBC en 2021 (la valeur de droite représente la moyenne glissante sur les 3 dernières années (2019-2020-2021), tandis que la valeur de gauche désigne la valeur pour l'année 2021). Le maximum de jours autorisés par an, en moyenne sur trois ans, par la directive 2008/50/CE est indiqué par le trait pointillé rouge. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18).

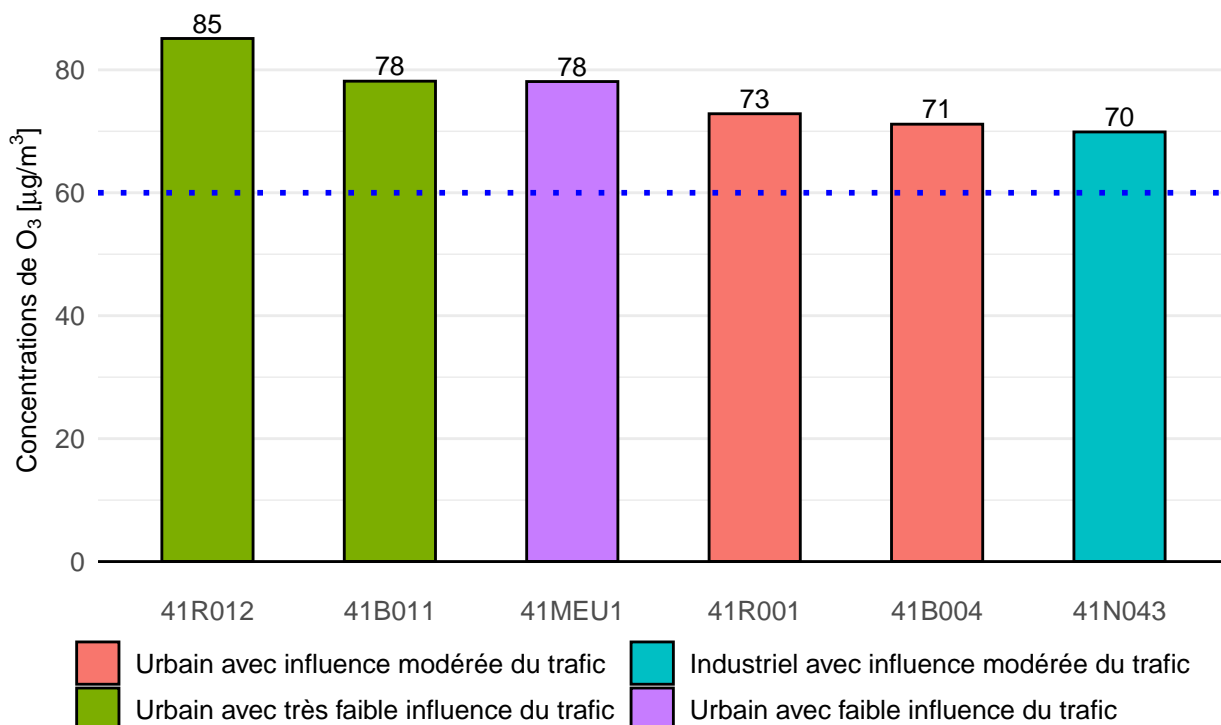


Figure 9 – Concentration moyenne sur une période de 6 mois de référence du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures des concentrations de O₃ pour chaque station de la RBC en 2021. La période de référence correspond à la moyenne glissante sur 6 mois la plus élevée des concentrations mensuelles de l'année considérée. Le trait pointillé bleu indique la valeur de 60 µg/m³ recommandée par l'OMS. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 18).



CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

La thématique de la qualité de l'air est, de manière générale, le suivi des concentrations de polluants présents dans l'air ambiant. La mesure des polluants permet ainsi de vérifier si les concentrations respectent les normes imposées par la Commission européenne ou les valeurs recommandées par l'OMS.

On distingue la mesure en continu (téléométrique) des polluants par des analyseurs automatiques et la mesure non téléométrique de ceux-ci, c'est-à-dire basée sur des prélèvements analysés ensuite en laboratoire (mesures en différé).

Le présent rapport s'inscrit dans le contexte de la mesure téléométrique (en temps réel) en Région de Bruxelles-Capitale (RBC) des polluants atmosphériques principaux régulés par la directive européenne 2008/50/CE (voir 1.3), soit :

- le dioxyde d'azote (NO_2),
- les particules en suspension ou particules fines (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$),
- l'ozone (O_3),
- le monoxyde de carbone (CO),
- le dioxyde de soufre (SO_2)

et également d'un polluant non régulé mais d'intérêt scientifique : le *black carbon* (BC). À titre informatif, les polluants mesurés dans le réseau non téléométrique de la RBC sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les composés organiques volatils (COV), les métaux lourds (dont le plomb), le benzène, le lévoglucosan, le chlorure, l'ammoniac et les fumées noires.

Afin de mesurer les polluants atmosphériques, des stations de mesure sont déployées par les Etats Membres. Ces stations de mesures sont des locaux ou cabines munis de tout le matériel nécessaire pour agir comme des laboratoires automatisés transmettant leurs données en temps réel. Elles sont donc munies d'une ligne de prélèvement qui alimente différents analyseurs de qualité de l'air opérant les mesures à proprement parler. Ces mesures sont stockées sur un système d'acquisition de mesure (SAM) puis envoyées automatiquement toutes les demi-heures au Laboratoire de Qualité de l'air de Bruxelles Environnement.

1.2 CONCENTRATIONS À L'IMMISSION ET ÉMISSIONS

De manière générale, les analyseurs du réseau téléométrique mesurent des concentrations à l'*immission*, soit après « chimie-transport » des polluants émis par les différentes sources (*émissions*). Le terme chimie-transport désigne tous les processus de dispersion et d'éventuelles transformations chimiques dans l'air ambiant des composés. Les conditions météorologiques régissent la qualité de la dispersion et sont ainsi déterminantes dans l'évolution des concentrations.

Les paramètres les plus importants à prendre en compte pour les polluants primaires (émis directement dans l'atmosphère) sont, de manière très simplifiée :

- la vitesse du vent, qui détermine la qualité de la dispersion horizontale des polluants,
- la direction du vent, qui, selon son origine, pourra amener de l'air peu chargé en polluants ou au contraire transporter des polluants sur de longues distances,
- la présence ou non d'une « inversion thermique », c'est-à-dire une couche d'air chaud chapeautant une couche d'air froid et agissant comme un « couvercle » empêchant la dispersion verticale des polluants,
- la présence ou non de précipitations qui auront tendance à laver l'air en ramenant les polluants au sol.



En particulier, l'ensoleillement est déterminant en ce qui concerne la formation d'ozone, un polluant secondaire, c'est-à-dire formé sur base de polluants déjà présents dans l'air (voir section 5.1).

Si l'on analyse les données sur une plus longue période (par exemple 10 ans), on peut partiellement s'affranchir de l'influence des conditions météorologiques - qui expliquent néanmoins les fluctuations de concentrations d'une année à l'autre. C'est pourquoi l'amélioration à long terme de la qualité de l'air observée en RBC, en Belgique et dans le nord-ouest de l'Europe peut être attribuée à une diminution des émissions (liées à la prise de mesures et aux améliorations technologiques).

1.3 RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE

La mesure de la qualité de l'air s'inscrit dans le contexte de la directive 2008/50/CE [UE, 2008] et de la modification de plusieurs de ses annexes par la directive 2015/1480 [UE, 2015], complétées par le document de guidance de l'IPR [European Commission, 2018] qui facilite l'implémentation de la Décision 2011/850/CE [UE, 2011]. Celle-ci définit de manière univoque, à l'échelle européenne :

- les méthodes à utiliser pour mesurer les différents polluants dans l'air ambiant,
- la manière d'implanter les stations de mesure au niveau local et global (critère de micro- et de macro-implantation),
- différents seuils à respecter pour les polluants concernés, généralement définis pour l'exposition à court et à long terme.

Les différentes valeurs imposées par la directive 2008/50/CE sont regroupées dans la Table 1.1 ci-dessous. Ces seuils peuvent être :

- des valeurs **limites**, à ne pas dépasser et contraignantes légalement,
- des valeurs **cibles**, à atteindre dans la mesure du possible mais non contraignantes légalement,
- des objectifs à long terme, c'est-à-dire un niveau de concentration à atteindre à long terme,
- des seuils d'information et d'alerte, c'est-à-dire des seuils qui nécessitent, lorsqu'ils sont atteints, l'information du public ou la mise en place de mesures par les Etats membres.

1.4 VALEURS RECOMMANDÉES PAR L'OMS

Les valeurs recommandées par l'OMS sont établies en ne prenant en compte exclusivement que l'impact santé de la pollution de l'air et pas la faisabilité socio-économique du respect des seuils - contrairement aux normes européennes définies dans la directive 2008/50/CE [UE, 2008].

Les anciennes et nouvelles valeurs recommandées par l'OMS sont regroupées dans la Table 1.2. Comme on peut le voir, les valeurs recommandées par l'OMS en 2021 [WHO, 2021] ont été, pour la plupart d'entre elles, fortement revues à la baisse par rapport aux valeurs de 2005 [WHO, 2005]. La majorité de ces valeurs de 2021 ne sont respectées en Belgique que dans les sites les moins exposés aux sources de pollution (pour les polluants primaires), tels que les sites de fond rural (comme par exemple la station de Vielsalm).

1.5 OBJECTIFS DU RAPPORT

Ce rapport a pour objectif de présenter les mesures des polluants de l'air ambiant obtenues en 2021 grâce au réseau télémétrique de la RBC. Ces données permettent notamment de vérifier où se situe la RBC par rapport au respect des normes imposées par la Commission européenne et par rapport aux valeurs guides recommandées par l'OMS. L'évolution des polluants sur les 10 dernières années est également analysée dans ce rapport.

Tout comme l'année 2020, l'année 2021 a été également exceptionnelle en raison de la pandémie de COVID-19. Les mesures mises en place dans ce contexte ont continué d'impacter la qualité de l'air pendant une grande partie de l'année. Pour plus d'informations sur l'évaluation de l'impact du confinement sur la qualité de l'air en 2020, nous renvoyons au rapport annuel de l'année en question [Bruxelles Environnement, 2020c].

Au chapitre 2, nous détaillons le réseau de mesure télémétrique bruxellois de qualité de l'air en présentant un historique du réseau, l'emplacement des stations et l'environnement des stations de mesure. Aux chapitres 3 à 8, nous présentons respectivement les résultats des mesures d'oxydes d'azote, de particules en suspension, d'ozone, de black carbon, de dioxyde de soufre et de monoxyde de carbone, pour l'année 2021 et les dix dernières années (2012 - 2021). Enfin, nos conclusions sont rassemblées au chapitre 9.



Table 1.1 – Normes européennes de qualité de l'air ambiant pour la protection de la santé humaine.

Polluant	Période de moyenne	Concentration légale	Commentaires
PM ₁₀	1 jour	Valeur limite : 50 µg/m ³	35 jours de dépassement autorisés par an
	Année calendrier	Valeur limite : 40 µg/m ³	
PM _{2.5}	Année calendrier	Valeur limite : 25 µg/m ³	
	Année calendrier	IEM : 20 µg/m ³	Indicateur d'exposition moyenne en 2015 (moyenne sur 2013-2015)
	Année calendrier	Cible de réduction nationale : 0-20 % de réduction de l'exposition	Indicateur d'exposition moyenne en 2020, le pourcentage de réduction dépend de la valeur initiale. Le pourcentage de réduction pour la Belgique est de 20%.
O ₃	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures	Valeur cible : 120 µg/m ³	25 jours de dépassement autorisés par an, en moyenne sur 3 ans
	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures	Objectif à long terme : 120 µg/m ³	aucun dépassement autorisé
	1 heure	Seuil d'information : 180 µg/m ³	
NO ₂	1 heure	Seuil d'alerte : 240 µg/m ³	
	1 heure	Valeur limite : 200 µg/m ³	18 heures de dépassement autorisées par an
	1 heure	Seuil d'alerte : 400 µg/m ³	Mesuré sur 3 heures consécutives et 100 km ² ou une zone entière
SO ₂	Année calendrier	Valeur limite : 40 µg/m ³	
	1 heure	Valeur limite : 350 µg/m ³	24 heures de dépassement autorisées par an
	1 heure	Seuil d'alerte : 500 µg/m ³	Mesuré sur 3 heures consécutives et 100 km ² ou une zone entière
CO	1 jour	Valeur limite : 125 µg/m ³	3 jours de dépassement autorisés par an
	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures	Valeur limite : 10 mg/m ³	



Table 1.2 – Anciennes (2005) et nouvelles (2021) valeurs guides pour la qualité de l'air recommandées par l'OMS. L'indicateur pour la période de pics d'ozone est défini comme la moyenne du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures sur la période de 6 mois glissante la plus élevée de l'année. Les 3 à 4 dépassements recommandés par l'OMS (selon la saisie annuelle de données) correspondent au centile 99. La valeur horaire de 200 µg/m³ pour le NO₂ (avec aucun dépassement) reste valide en 2021. Les valeurs recommandées de 2005 inchangées pour le CO et le SO₂ ne sont pas indiquées dans la table.

Polluant	Période de moyenne	Valeur recommandée (2005)	Valeur recommandée (2021)	Commentaires (2021)
PM ₁₀	Année calendrier	20 µg/m ³	15 µg/m ³	
	1 jour	50 µg/m ³	45 µg/m ³	3-4 jours de dépassement par an
PM _{2,5}	Année calendrier	10 µg/m ³	5 µg/m ³	
	1 jour	25 µg/m ³	15 µg/m ³	3-4 jours de dépassement par an
O ₃	Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures	100 µg/m ³	100 µg/m ³	3-4 jours de dépassement par an
	Période de pics	-	60 µg/m ³	
NO ₂	Année calendrier	40 µg/m ³	10 µg/m ³	
	1 jour	-	25 µg/m ³	3-4 jours de dépassement par an
SO ₂	1 jour	20 µg/m ³	40 µg/m ³	3-4 jours de dépassement par an
CO	1 jour	-	4 mg/m ³	3-4 jours de dépassement par an



Notez que dans ce rapport, les correspondances entre les noms des stations et les codes des stations sont disponibles dans la Table 2.1. La méthodologie pour le calcul des indicateurs et leur présentation sont fournies dans l'Annexe A.



CHAPITRE 2 : RÉSEAU DE MESURES TÉLÉMÉTRIQUES

2.1 HISTORIQUE DU RÉSEAU DE MESURES

Le réseau de mesure télémétrique est équipé d'appareils de mesure qui fonctionnent en continu et enregistrent la présence d'un ou de plusieurs polluants spécifiques de l'air. Ces systèmes de mesure permettent de suivre à tout moment l'évolution de la qualité de l'air (mesures en temps réel).

Le réseau de mesure télémétrique de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC) est l'héritier du réseau de mesure national de l'air, lancé vers 1978. Le 1^{er} janvier 1994, le «réseau de mesure national» a été régionalisé. Le réseau de mesure bruxellois est depuis exploité par le département «Laboratoire Qualité de l'Air» de Bruxelles Environnement. Après ce transfert de compétences, le réseau de mesure de Bruxelles Environnement comptait six stations de mesure. Quatre de ces stations appartenaient au réseau national : Molenbeek-Saint-Jean (41R001), Uccle (41R012) et l'Avant-Port à Haren (41N043), opérationnelles depuis 1980 et la station d'Ixelles (41R002) depuis 1986. En 1992, Bruxelles Environnement a ouvert deux stations supplémentaires : Arts-Loi (41B003) et Berchem-Sainte-Agathe (41B011). À l'origine (en 1980), le réseau était équipé pour mesurer les polluants gazeux SO₂, NO, NO₂ et la pollution particulaire par mesure optique. Un premier appareil de mesure de l'ozone a été mis en service à Uccle en 1986.

Depuis 1994, le réseau de mesure en RBC a été étendu. Des appareils de mesure ont été ajoutés dans les stations existantes, pour déterminer les concentrations en O₃, CO, CO₂ et en particules en suspension PM₁₀ et PM_{2,5}. Des stations de mesure supplémentaires ont été installées à Woluwe-Saint-Lambert (41WOL1) en mars 1994 et au parc Meudon à Neder-Over-Heembeek (41MEU1) en octobre 1999. En outre, une station de mesure a été mise en place en janvier 1996 par Electrabel à Forest (47E013) mais ses données sont gérées par la Vlaamse Milieumaatschappij (VMM).

Dans le courant de la période 2000-2002, le réseau a encore été étendu. En décembre 2000, une station de mesure a été installée à la station de métro Sainte-Catherine (41B004), suivie par une station de mesure au Parlement européen (41B006) en septembre 2001 et une station supplémentaire à proximité du Parlement en décembre 2001 (Eastman - 41B005, devenue Belliard - 41B008 en 2013, suite à la rénovation du bâtiment Eastman). La station d'Arts-Loi (41B003) qui avait dû être démontée pour cause de travaux à la station de métro en 2009, a été réinstallée en 2016 avec une nouvelle prise d'air (41B001).

En 2020, la station de Woluwe-Saint-Lambert a été fermée en raison du déménagement du Laboratoire de Qualité de l'Air de Bruxelles Environnement. En 2021, deux nouvelles stations de mesure ont été installées en RBC : la station du boulevard du Régent (41REG1), située sur la petite ceinture, a été installée en septembre, puis la station de Ganshoren (41CHA1), située sur l'avenue Charles-Quint, a été installée en octobre.

2.2 STATIONS ET TYPES D'ENVIRONNEMENT

Le réseau de mesures géré par Bruxelles Environnement comporte 10 stations de mesures, auxquelles s'ajoutent les deux stations 41B006 et 41B008, gérées depuis 2018 par une firme privée, dans le contexte de la mise en œuvre d'un «observatoire de la qualité de l'air» par le Parlement européen. Ces stations couvrent les principaux types d'environnements rencontrés en milieu urbain (voir Table 2.1). Il s'agit du type d'environnement de chaque station en situation normale, sans tenir compte des mesures COVID-19 qui ont provoqué une réduction de l'intensité du trafic. La Figure 2.1 présente la carte des stations de mesure du réseau télémétrique.

2.3 POLLUANTS MESURÉS PAR STATION

Tous les polluants réglementaires sont mesurés en RBC et le nombre de points de mesure excède les exigences de la Directive européenne 2008/50/CE. Le réseau est configuré en tenant compte à la fois des contraintes techniques et de la pertinence des sites de mesure pour chaque polluant. Par exemple, il est en effet judicieux de mesurer les concentrations d'ozone sur un site peu influencé par le trafic plutôt que sur un site trafic (voir chapitre 5). De ce fait, toutes les stations ne mesurent pas la totalité des polluants réglementaires.



Table 2.1 – Stations par type d’environnement

Environnement de station	Station(s)
Urbain avec très faible influence du trafic	41R012 - Uccle 41B011 - Berchem-Sainte-Agathe
Urbain avec faible influence du trafic	41MEU1 - Neder-Over-Heembeek (Parc Meudon) 41B006 - Parlement UE (non gérée par BE)
Urbain avec influence modérée du trafic	41R001 - Molenbeek-Saint-Jean 41B004 - Sainte-Catherine
Urbain avec forte influence du trafic	41R002 - Ixelles 41CHA1 - Ganshoren
Urbain avec très forte influence du trafic	41B008 - Belliard (non gérée par BE) 41B001 - Arts-Loi 41REG1 - Régent
Industriel avec influence modérée du trafic	41N043 - Haren (Avant-Port)



Figure 2.1 – Carte des stations de mesure du réseau téléométrique. Les stations 41B006 et 41B008, indiquées en bleu, ne sont pas gérées par Bruxelles Environnement.

En plus des polluants réglementaires, soit les oxydes d’azote (NO_x), l’ozone (O_3), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO_2), les particules fines PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$, un certain nombre de sites de mesures enregistrent le *black carbon* (BC) et le dioxyde de carbone (CO_2) par intérêt scientifique. La Table 2.2 présente les polluants mesurés dans chaque station gérée par Bruxelles Environnement.

2.4 DESCRIPTIF DES STATIONS



Table 2.2 – Polluants mesurés pour chaque station gérée par Bruxelles Environnement.

Station	O ₃	NO, NO ₂	CO	CO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	BC
41B001		✓	✓		✓			
41B004	✓	✓	✓					
41B011	✓	✓				✓	✓	
41CHA1		✓						✓
41MEU1	✓	✓				✓	✓	
41N043	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
41R001	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
41R002		✓	✓	✓	✓			✓
41R012	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
41REG1		✓				✓	✓	
Total / polluant	6	10	5	2	5	6	6	5

2.4.1 Uccle (41R012)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec très faible influence du trafic (station «de fond urbain»). L'axe routier le plus important à proximité de la station est l'avenue Circulaire, mais cette station n'est pas exposée directement aux sources (trafic ou autres). L'environnement de la station est résidentiel et on s'attend à une influence du chauffage au bois sur les concentrations en BC lors des jours les plus froids (feux de confort).

2.4.2 Berchem-Sainte-Agathe (41B011)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec très faible influence du trafic (station «de fond urbain»). La station est située dans un environnement résidentiel particulièrement calme à proximité d'un cimetière. Etant donné sa proximité immédiate à un environnement boisé, on s'attend à observer l'influence de la végétation (pollens notamment) sur les concentrations de particules fines, principalement pendant la période de croissance de la végétation.

2.4.3 Neder-Over-Heembeek (Parc Meudon, 41MEU1)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec faible influence du trafic. Elle est située dans le parc Meudon. L'environnement de la station est résidentiel. Historiquement, cette station avait été installée en aval des vents dominants par rapport à l'incinérateur de Haren, à environ 1.5 km de celui-ci, afin de déceler d'éventuels impacts sur la qualité de l'air dans les zones résidentielles avoisinantes. Etant donné sa proximité immédiate à un environnement boisé (parc), on s'attend à observer l'influence de la végétation (pollens notamment) sur les concentrations de particules fines, principalement pendant la période de croissance de la végétation.

2.4.4 Parlement européen (non gérée par Bruxelles Environnement, 41B006)

Dans le cadre de son permis d'exploitation, le Parlement européen est tenu de mettre en œuvre un «observatoire de la qualité de l'air». La station du Parlement européen est l'une des deux stations de cet observatoire. Le maintien et le suivi de cette station sont gérés par une firme privée.

La station est caractérisée par un environnement urbain avec faible influence du trafic. Elle se situe sur le site du Parlement européen. Malgré sa proximité relative à des axes de trafic importants (dont la rue Belliard), la station bénéficie d'un «effet d'écran» des bâtiments massifs avoisinants; c'est pourquoi elle n'est que sous faible influence du trafic.

2.4.5 Molenbeek-Saint-Jean (41R001)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec influence modérée du trafic. L'axe routier le plus important à proximité de la station est la chaussée de Ninove.

En outre, le passage de bateaux par l'écluse peut avoir une influence sur les concentrations mesurées (de SO₂ notamment) par vent de sud-est à sud-ouest.



2.4.6 Place Sainte-Catherine (41B004)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec influence modérée du trafic. La station est située sur la place Sainte-Catherine dans le centre de Bruxelles. Les événements urbains (marché de Noël, concerts,...) ainsi que les livraisons des commerces à proximité de la station influencent les concentrations de polluants provenant du trafic routier.

2.4.7 Ixelles (41R002)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec forte influence du trafic. L'axe routier le plus important à proximité de la station est l'avenue de la Couronne, qui est en outre une rue canyon¹.

2.4.8 Ganshoren (41CHA1)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec forte influence du trafic². La station est située le long de l'avenue Charles-Quint, un axe pénétrant important en RBC, qui est en outre un canyon modérément profond.

2.4.9 Boulevard du Régent (41REG1)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec très forte influence du trafic. En effet, la station est située à proximité immédiate de la petite ceinture de Bruxelles et non loin d'une sortie de tunnel.

2.4.10 Rue Belliard (non gérée par Bruxelles Environnement, 41B008)

Dans le cadre de son permis d'exploitation, le Parlement européen est tenu de mettre en œuvre un « observatoire de la qualité de l'air ». La station Belliard (41B008) est l'une des deux stations de cet observatoire. Le maintien et le suivi de cette station sont gérés par une firme privée. La station est caractérisée par un environnement urbain avec très forte influence du trafic. La station est située le long de la rue Belliard, axe pénétrant majeur disposant de cinq bandes de circulation. En outre, la rue Belliard est un canyon profond.

Cette station ne répond pas aux critères d'implantation de la Directive 2008/50/CE et n'est pas prise en compte pour le rapportage annuel de la qualité de l'air à la Commission européenne. En effet, la station Belliard se trouve à moins de 25 mètres du feu de signalisation situé au croisement de la rue d'Ardenne et de la rue Belliard et ne correspond donc pas aux critères européens d'implantation des stations. Les mesures à cet endroit sont donc influencées par les arrêts et démarrages des véhicules en circulation. De ce fait, cette station n'est pas prise en compte pour évaluer le respect des normes européennes.

2.4.11 Arts-Loi (41B001)

Le choix de l'emplacement de la station de mesure, effectué en 1992, soit 7 ans avant l'adoption de la Directive 1999/30/CE, avait pour objectif d'étudier la pollution de l'air par le trafic routier. La qualité de l'air à ce carrefour est en effet directement influencée par les émissions de la circulation locale. Les résultats de cette station de mesure fournissent des informations très intéressantes à ce sujet, mais ne peuvent pas être interprétées comme représentatives de l'exposition de la population bruxelloise. L'objectif était de mieux percevoir, grâce à l'évolution des concentrations à moyen et long terme, l'influence de la circulation sur la qualité de l'air et l'incidence favorable éventuelle des mesures de limitation des émissions dans le secteur du trafic routier.

Depuis le réaménagement du carrefour en 2003, la prise d'air de cette station de mesure (41B003) était située au-dessus de la sortie du tunnel et donc encore plus proche de la circulation. Il en a résulté des concentrations encore plus élevées qu'auparavant, notamment en NO₂. Suite aux travaux d'aménagement de la station de métro « Arts-Loi », la station 41B003 a dû être mise à l'arrêt en 2009. Dès la fin du réaménagement de la station de métro, la STIB a proposé un nouveau local technique pour l'installation des instruments de mesures. La station Arts-Loi a pu être remise en service en décembre 2016. Par rapport à l'emplacement qui prévalait avant les travaux, la prise d'air a été déplacée et se trouve désormais à hauteur du croisement entre le boulevard du Régent et la rue de la Loi. Ceci explique le changement du code de la station, dès lors identifiée par 41B001. La station est donc caractérisée par un environnement urbain avec très forte influence du trafic. Elle est située directement sur le carrefour à l'intersection entre la petite ceinture et la rue de la Loi, axe pénétrant majeur. On peut y mesurer l'impact d'un trafic intense, y compris la nuit (activité proportionnellement intense par rapport aux autres sites de mesure).

¹ soit une rue fortement enclavée par des bâtiments qui entravent la dispersion des polluants.

² Le type d'environnement de cette station sera réévalué au terme d'un an de données (2022) de concentrations



Cette station ne répond pas aux critères d'implantation de la Directive 2008/50/CE et n'est pas prise en compte pour le rapportage annuel de la qualité de l'air à la Commission européenne. En effet, celle-ci se situe à moins de 25 mètres du carrefour Arts-Loi et est donc représentative de la pollution extrêmement locale à proximité du carrefour où elle se trouve, mais pas de la qualité de l'air dans les environs. En outre, compte tenu de son implantation dans un carrefour, on ne peut pas considérer que la station Arts-Loi puisse être représentative de l'exposition de la population pendant une période significative de la journée. En règle générale, l'exposition aux polluants dans un tel site se limite à quelques minutes par jour.

2.4.12 Haren (41N043)

La station est caractérisée par un environnement industriel avec influence modérée du trafic. L'axe routier le plus important à proximité de la station est la chaussée de Vilvorde. L'environnement spécifique de la station résulte des sites industriels avoisinants, de l'avant-port et du passage de camions. Le site est particulièrement sensible à la remise en suspension des particules. Pour cette raison, les concentrations des particules en suspension comprises dans la fraction grossière (2.5-10 μm) y sont en général plus élevées qu'aux autres sites de mesures. En outre, le passage de bateaux par l'écluse peut avoir une influence sur les concentrations mesurées (de SO_2 notamment) par vent de nord.



CHAPITRE 3 : OXYDES D'AZOTE

3.1 NATURE DU POLLUANT

Les **oxydes d'azote** désignent le mélange gazeux de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO₂) :

$$[\text{NO}_x] = [\text{NO}_2] + [\text{NO}] (\text{ppbV}) \quad (3.1)$$

Les oxydes d'azote sont produits lors de tous les processus de combustion dans l'atmosphère. La majorité des oxydes d'azote émis le sont généralement sous forme de NO (bien que du NO₂ soit également produit), sauf dans les motorisations diesel pour lesquelles le rapport NO₂/NO_x peut atteindre 60%. Le NO₂ résulte, de manière générale, de l'oxydation du NO. En Région de Bruxelles-Capitale (RBC), les principales sources d'oxydes d'azote sont le transport routier (61% des émissions totales pour l'année 2019) et en particulier les moteurs diesel, le chauffage des bâtiments (25%) et, dans une moindre mesure, la production d'énergie (7%) et l'industrie (2%) [Bruxelles Environnement, 2020a].

Lors de la combustion, au niveau de la flamme (à haute température, supérieure à 600°C), le NO est le composé thermodynamiquement le plus stable, bien que le rendement de la réaction ne soit réellement élevé qu'à des températures beaucoup plus hautes (supérieures à 1000°C), comme lorsque la foudre tombe.



Près de la flamme mais en dehors de celle-ci, à température plus basse (soit dans la gamme de 200 à 400°C), une partie du NO formé est déjà oxydé en NO₂ par l'oxygène excédentaire :



Dans l'air ambiant, le NO est lentement oxydé en NO₂ par l'oxygène de l'air (par la même réaction (3.3)) et plus rapidement en présence d'ozone (O₃) :



Le NO₂ est le composé thermodynamiquement le plus stable dans l'air ambiant. Par ailleurs, il n'est que faiblement soluble dans l'eau et les précipitations ne l'éliminent pas efficacement. Contrairement au NO, le NO₂ persiste donc longtemps dans l'atmosphère et peut être transporté sur de longues distances. Le NO reste quant à lui localisé près de ses sources d'émission. Autrement dit, les profils spatio-temporels du NO₂ sont plus homogènes que ceux du NO.

Les oxydes d'azote interviennent également dans la formation de l'ozone. Ceux-ci sont des **précurseurs** de l'ozone troposphérique, au même titre que les composés organiques volatils (voir chapitre 5). Ils peuvent également se transformer en nitrates (NO₃⁻) et intervenir dans la formation de particules secondaires, par réaction avec l'ammonium (lui-même formé sur base de l'ammoniac NH₃ présent dans l'atmosphère) lorsque les conditions météorologiques y sont propices (voir chapitre 4). La déposition (sèche ou humide après transformation en nitrate) du dioxyde d'azote contribue également à l'acidification et à l'eutrophisation des écosystèmes lorsqu'il s'y dépose directement ou indirectement, soit par le biais de la déposition d'acide nitrique HNO₃.

D'un point de vue des aspects de santé, le NO présent dans l'air ambiant est moins toxique que le NO₂ [WHO, 2013] et ne fait pas l'objet d'une réglementation ou de recommandations. *A contrario*, le NO₂ peut causer des irritations aux yeux, au nez et à la gorge et peut également causer des irritations des poumons et réduire la fonction pulmonaire lorsqu'il est inhalé [WHO, 2020], [EEA, 2019].



3.2 RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE ET VALEURS RECOMMANDÉES PAR L'OMS

En pratique, seul le NO₂ fait l'objet d'une réglementation au niveau européen ainsi que de valeurs recommandées par l'OMS, pas le NO. La mesure du NO₂ s'inscrit dans le cadre de la directive européenne 2008/50/CE (et sa révision 2015/1480/CE). La directive prévoit deux valeurs limites, seulement pour le dioxyde d'azote, entrées en vigueur le 1/1/2010 :

- une valeur limite horaire de 200 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 18 fois par an (18 heures autorisées),
- une valeur limite annuelle de 40 µg/m³.

Les valeurs recommandées par l'OMS étaient identiques jusqu'en 2021, à la différence que l'OMS n'autorise *aucun* dépassement par an pour la valeur horaire.

En 2021, l'OMS a publié de nouvelles valeurs recommandées pour le dioxyde d'azote :

- une valeur annuelle recommandée de 10 µg/m³,
- une valeur journalière recommandée de 25 µg/m³ (3 à 4 dépassements recommandés, selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99),

la valeur limite horaire étant toujours d'actualité. Remarquons que ces valeurs recommandées sont extrêmement strictes, en particulier pour les environnements urbains.

3.3 MESURES ACTUELLES

Nous analysons dans cette section les concentrations de dioxyde d'azote durant l'année 2021, en particulier vis-à-vis des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l'OMS.

On peut faire les constats généraux suivants :

- entre 2020 et 2021, la concentration annuelle en dioxyde d'azote a augmenté d'environ 10% en moyenne sur les stations de mesure,
- entre 2019 et 2020, la concentration annuelle en dioxyde d'azote avait diminué d'environ 25% en moyenne et,
- entre 2018 et 2019, la concentration annuelle en dioxyde d'azote avait diminué d'environ 10% en moyenne.

On peut donc observer que la diminution des concentrations entre 2019 et 2020 était exceptionnellement prononcée. Cet effet était dû en grande partie aux mesures de confinement (plus ou moins strictes, selon la période de l'année) mises en place dans le cadre de la pandémie de COVID-19, qui ont eu un effet notoire sur l'intensité du trafic routier [Bruxelles Environnement, 2020b]. En réalité, les concentrations d'oxydes d'azote poursuivent en 2021 leur tendance à la baisse par rapport aux années 2019 et antérieures, mais retrouvent une décroissance d'un ordre de grandeur normal par rapport à ce qui avait été observé entre 2019 et 2020. En effet, en 2021, pour la deuxième année consécutive, toutes les stations de mesure de la RBC ont respecté la norme annuelle européenne de 40 µg/m³.

3.3.1 Moyenne annuelle

Les concentrations moyennes annuelles de NO₂ sont présentées sur la Figure 3.1. Les stations pour lesquelles la saisie minimale de données (horaires) est éventuellement de moins de 85%, comme exigé par la directive 2008/50/CE (via l'IPR [European Commission, 2018], voir Annexe A.1), sont indiquées en rouge.

Les stations du boulevard du Régent (41REG1) et de Ganshoren (41CHA1) ont été mises en service en septembre et octobre 2021, respectivement. Leur saisie annuelle de données (28 et 23%, respectivement) est donc nettement insuffisante pour conclure quant à leur moyenne annuelle. À titre informatif, les moyennes calculées sur les mois de données disponibles sont de 43 µg/m³ pour la station du boulevard du Régent et de 37 µg/m³ pour la station de Ganshoren. L'environnement de la station du boulevard du Régent est urbain avec très forte influence du trafic et celui de la station de Ganshoren est urbain avec forte influence du trafic.

En ce qui concerne les autres stations, on peut constater d'emblée que, malgré l'augmentation moyenne marginale des concentrations entre 2020 et 2021, toutes les stations de mesure du réseau téléométrique (ainsi que celles non gérées par Bruxelles Environnement) respectent la valeur limite annuelle de 40 µg/m³. Ceci inclut les stations d'Arts-Loi (41B001) et de la rue Belliard (41B008) qui ont enregistré des concentrations moyennes annuelles de 38 µg/m³ et de 32 µg/m³, respectivement. Etant donné leur environnement urbain très fortement influencé par le trafic routier, il n'est pas étonnant que ce soit ces stations qui enregistrent les concentrations



annuelles les plus élevées en RBC. La concentration moyenne annuelle mesurée à la station d'Ixelles (41R002), urbaine avec forte influence du trafic, suit de près la station de Belliard avec 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les concentrations mesurées aux stations urbaines et industrielle modérément influencées par le trafic routier, ainsi qu'à la station du Parlement européen (41B006), urbaine avec faible influence du trafic routier, sont du même ordre de grandeur (25 à 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). L'autre station de mesure située dans un environnement urbain avec faible influence du trafic - Neder-Over-Heembeek (41MEU1) - mesure quant à elle une concentration moins élevée, avec 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Enfin, les concentrations moyennes annuelles des stations urbaine avec très faible influence du trafic (stations de fond urbain) enregistrent en toute logique les concentrations les plus faibles en RBC, soit 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station de Berchem-Sainte-Agathe (41B011) et 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station d'Uccle (41R012).

Si l'on compare ces concentrations à la valeur annuelle recommandée par l'OMS en 2021 de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, les stations de la RBC sont donc toutes en dépassement, même les stations les moins exposées au trafic routier. La valeur annuelle recommandée de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est extrêmement stricte, et semble non atteignable en 2021 dans un environnement urbain. En Belgique, seuls une dizaine de sites de mesure les moins exposés au NO_2 respectent cette valeur. De manière générale, les sites de fond rural, tels que la station de Vielsalm, fournissent une estimation de la pollution de fond européenne (transfrontière). En 2021, ceux-ci enregistraient déjà une concentration moyenne annuelle de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cela signifie qu'il ne reste que 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de marge pour toutes les autres sources additionnelles, afin de respecter la valeur annuelle recommandée par l'OMS de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

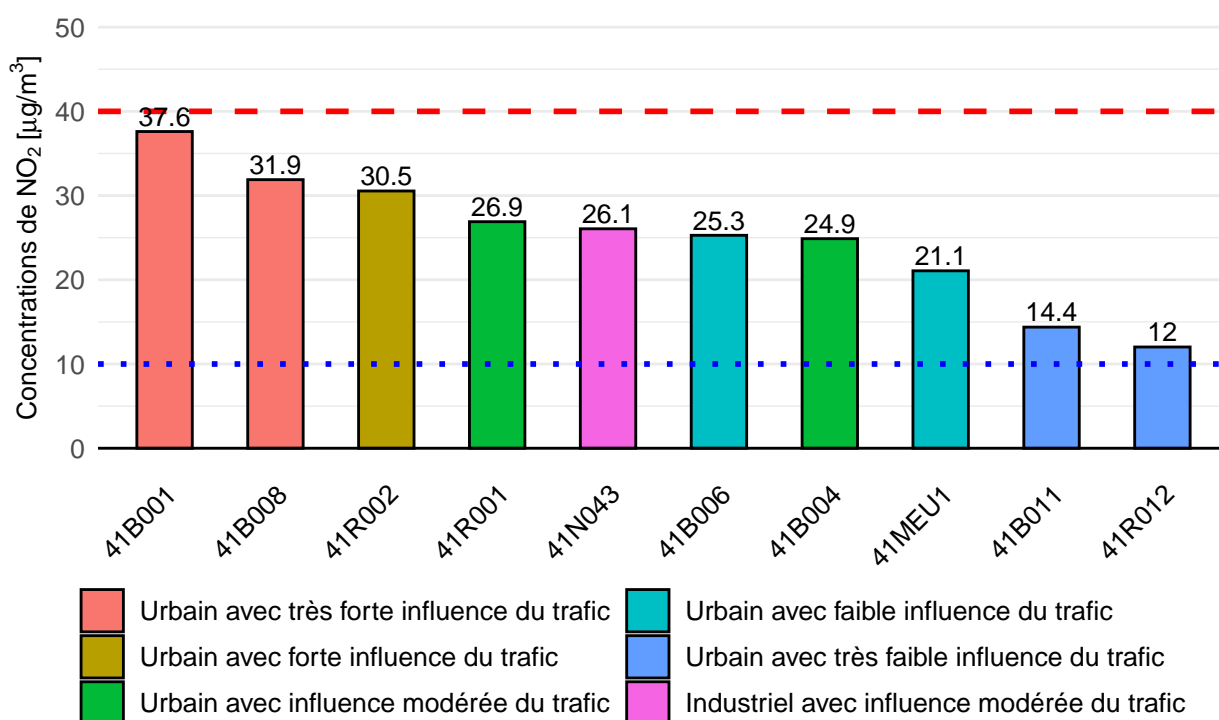


Figure 3.1 – Concentrations moyennes annuelles de NO_2 pour chaque station de la RBC en 2021 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne et la valeur annuelle recommandée par l'OMS de 2021 est indiquée par le trait pointillé bleu. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

3.3.2 Moyenne horaire

La valeur limite horaire pour le NO_2 de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, à ne pas dépasser plus de 18 fois par an, est respectée depuis plus de dix ans à Bruxelles (voir section 3.4.2). La valeur horaire recommandée par l'OMS, qui n'autorise aucun dépassement par an, est respectée également en 2021 (voir Figure 3.2). Il faut remarquer qu'un dépassement ponctuel de la valeur limite horaire peut simplement être dû à une source locale ayant émis beaucoup de NO_2 pendant une courte période à proximité de la station, comme par exemple des travaux ou un camion en stationnement.

La concentration maximale horaire de NO_2 par jour pour toutes les stations est représentée sur la Figure 3.3. De manière générale, les concentrations de NO_2 évoluent bien en-deçà de la valeur limite horaire européenne et de la valeur recommandée par l'OMS (en dehors de certains événements ou périodes ponctuelles où elles peuvent s'en approcher, voire la dépasser).



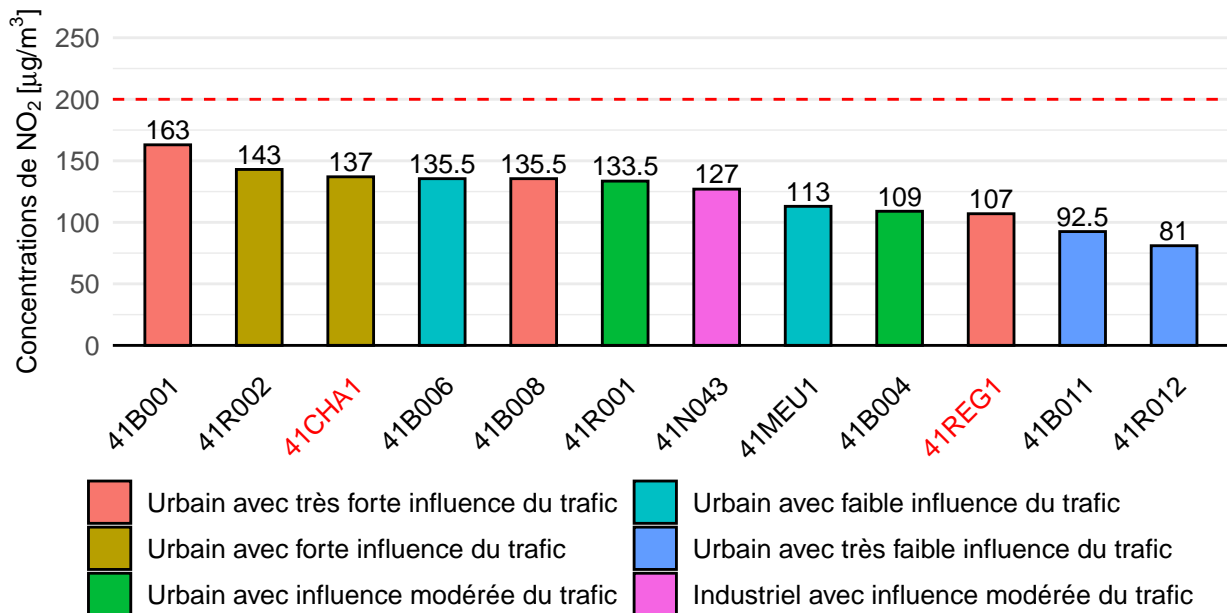


Figure 3.2 – Concentrations horaires maximales de NO₂ pour chaque station de la RBC en 2021 [µg/m³]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite horaire européenne de 200 µg/m³ (18 dépassements autorisés) identique à la valeur guide de l’OMS (mais avec aucun dépassement). Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

3.3.3 Moyenne journalière (OMS 2021)

Sur la Figure 3.4 sont présentés les nombres de dépassements de la nouvelle valeur journalière recommandée par l’OMS de 25 µg/m³ (avec 3 à 4 dépassements recommandés selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99). On peut voir que cette valeur journalière est très fréquemment dépassée dans tous les sites de mesure en RBC, en particulier dans les sites urbains fortement et très fortement influencés par le trafic routier.

3.4 MESURES HISTORIQUES

Nous analysons dans cette section l’évolution des concentrations de dioxyde d’azote durant les dix dernières années. De manière générale, les concentrations d’oxydes d’azote diminuent avec le temps en RBC (et dans le nord-ouest de l’Europe [EEA, 2020]). Cette diminution est à mettre en lien avec la diminution continue des émissions et avec l’amélioration des technologies, notamment automobiles. Ces dernières années, l’évolution des émissions du trafic, en particulier liée à l’accélération de la transition du diesel vers l’essence en RBC, a très probablement joué un rôle significatif.

3.4.1 Moyenne annuelle

On peut observer l’évolution sur les dix dernières années des concentrations annuelles de NO₂ sur la Figure 3.5. Chaque boîte à moustache (voir Annexe A.2) pour une année donnée regroupe l’information de toutes les stations du réseau de mesure de saisie de données horaires supérieure à 85%. Le trait rouge indique la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³ que chaque station doit respecter. On peut d’emblée observer sur cette figure la décroissance des concentrations moyennes sur les stations (points bleus) au cours du temps, malgré une stagnation entre 2015 et 2017. Depuis 2018, la grande majorité des indicateurs statistiques représentés sur le graphe sont en nette décroissance, en particulier en 2020, notamment en raison des mesures mises en place dans le cadre de la pandémie de COVID-19 [Bruxelles Environnement, 2020c]. De manière générale, la concentration annuelle maximale enregistrée dans le réseau de mesure dépasse systématiquement la valeur limite annuelle européenne sur ces dix dernières années, sauf depuis 2020 où toutes les stations de mesure respectent la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³. La valeur annuelle recommandée par l’OMS en 2021 est dépassée par toutes les stations depuis 10 ans, y compris durant l’année exceptionnelle de 2020. En 2021, on observe une légère remontée des concentrations par rapport à 2020 : la tendance générale des concentrations est toujours à la baisse mais l’activité (et en particulier, le trafic routier) a repris en 2021.

On peut voir également sur la Figure 3.6 la tendance à la baisse des concentrations de NO₂ au cours des années. En 2021, toutes les stations respectent la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³. Cette diminution drastique des concentrations entre 2019 et 2020 est liée en grande partie aux mesures mises en place dans le cadre de



Concentrations maximales horaires par jour de NO₂ en 2021

2021

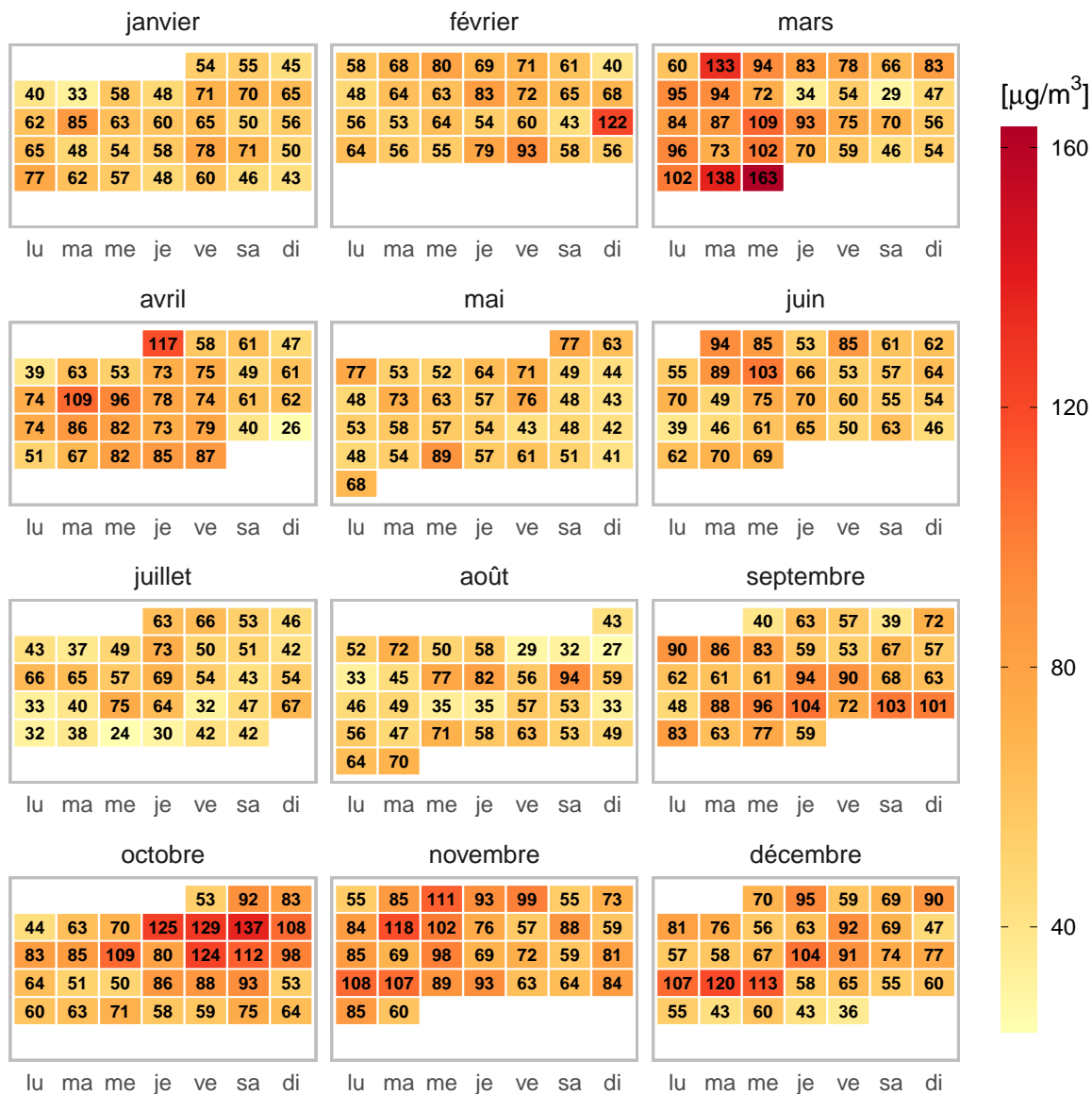


Figure 3.3 – Concentrations horaires maximales journalières de NO₂ pour toutes les stations du réseau télémétrique en 2021 [µg/m³]. Les jours où un dépassement du seuil de 200 µg/m³ a été enregistré sont encadrés en noir.

la pandémie de COVID-19 [Bruxelles Environnement, 2020c]. En 2017, la station d'Ixelles, située dans un environnement avec forte influence du trafic routier, dépassait encore largement la valeur limite avec une moyenne annuelle de 49 µg/m³. En 2018, cette station n'a pas enregistré les 85% de saisie de données nécessaires pour le calcul correct de la moyenne annuelle, en raison d'un problème technique sur la ligne de prélèvement. En 2019, la concentration moyenne annuelle à la station d'Ixelles a fortement baissé par rapport aux années précédentes (33 µg/m³). Cet effet est dû probablement en partie à la diminution du trafic avenue de la Couronne, liée aux travaux du boulevard Général Jacques situé à proximité.

Sur la Figure 3.7 est présentée l'évolution des concentrations moyennes annuelles de NO₂ pour différents types d'environnements. Dans cette figure,

- les stations urbaines avec très faible influence du trafic routier sont Uccle et Berchem-Sainte-Agathe,
- les stations urbaines avec influence modérée du trafic routier sont Molenbeek-Saint-Jean (41R001) et Sainte-Catherine (41B004),
- les stations urbaines avec très forte influence du trafic routier sont Arts-Loi et Belliard.

On peut constater que les concentrations moyennes annuelles mesurées aux stations les plus fortement exposées au trafic routier ont chuté brusquement en 2020 en raison notamment de la mise en place des mesures COVID-19. En 2021, les concentrations moyennes annuelles remontent marginalement dans tous les types d'en-



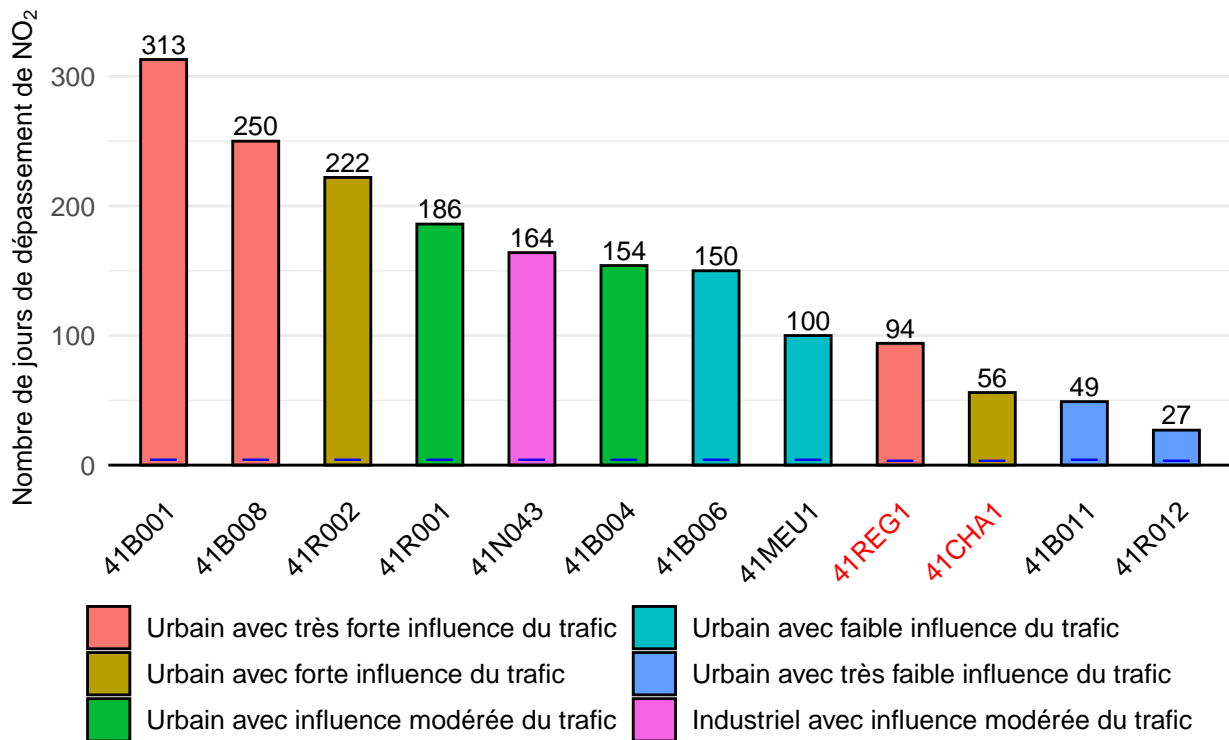


Figure 3.4 – Nombre de jours de dépassement des concentrations de NO₂ de la valeur journalière recommandée par l’OMS de 25 µg/m³ pour chaque station de la RBC en 2021. Le nombre de jours de dépassements recommandés par l’OMS (3 à 4 selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99) est indiqué par le trait bleu sur les bâtonnets. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

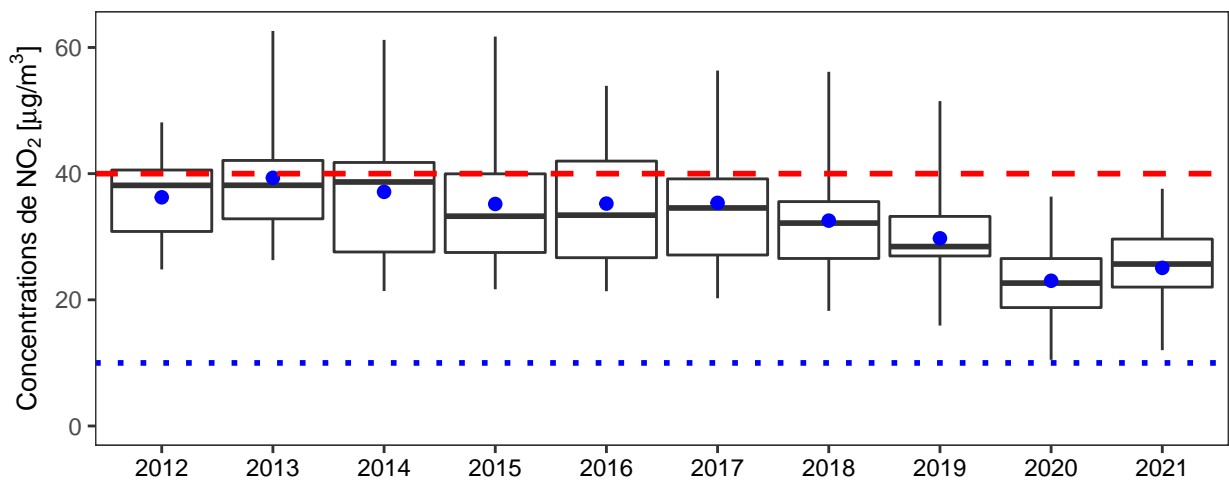


Figure 3.5 – Concentrations moyennes annuelles de NO₂ de toutes les stations pour la RBC sur les dix dernières années [µg/m³]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³ et la valeur annuelle recommandée par l’OMS de 10 µg/m³ est indiquée par le trait pointillé bleu.

vironnements mais sont inférieures à celles mesurées en 2019.

3.4.2 Moyenne horaire

Les boîtes à moustaches des 19^{ème} maxima annuels des valeurs horaires pour toutes les stations, au cours des dix dernières années, sont présentées sur la Figure 3.8. Comme la valeur limite européenne horaire autorise 18 dépassements du seuil de 200 µg/m³ par an, comparer le 19^{ème} maximum à ce seuil permet de vérifier instantanément si l’on dépasse ou non la norme européenne. On peut constater que, depuis 2012, même les stations enregistrant les 19^{ème} maxima les plus élevés restent bien en-dessous du seuil de 200 µg/m³; elles atteignent au maximum environ 175 µg/m³. Depuis 10 ans, la norme européenne horaire est donc respectée partout en RBC. Cela ne veut pas dire qu’il n’y a aucun dépassement du seuil de 200 µg/m³, mais que les stations restent toujours dans la marge des 18 dépassements autorisés par la directive 2008/50/CE. En 2021, ce



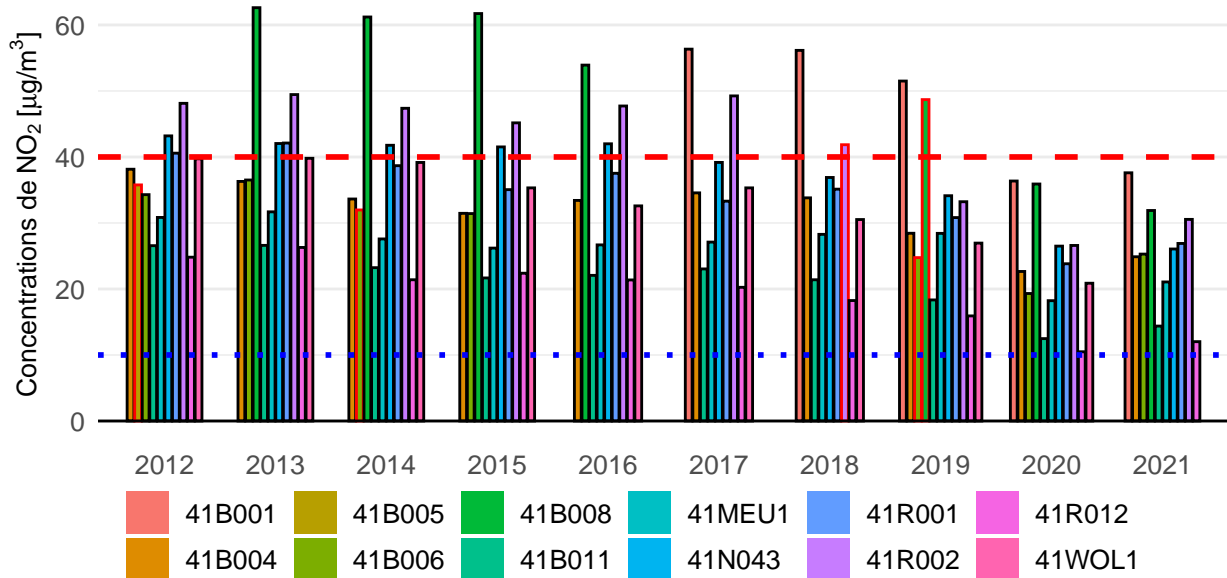


Figure 3.6 – Concentrations moyennes annuelles de NO₂ de toutes les stations pour la RBC sur les dix dernières années [µg/m³]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³ et la valeur annuelle recommandée par l’OMS de 10 µg/m³ est indiquée par le trait pointillé bleu. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

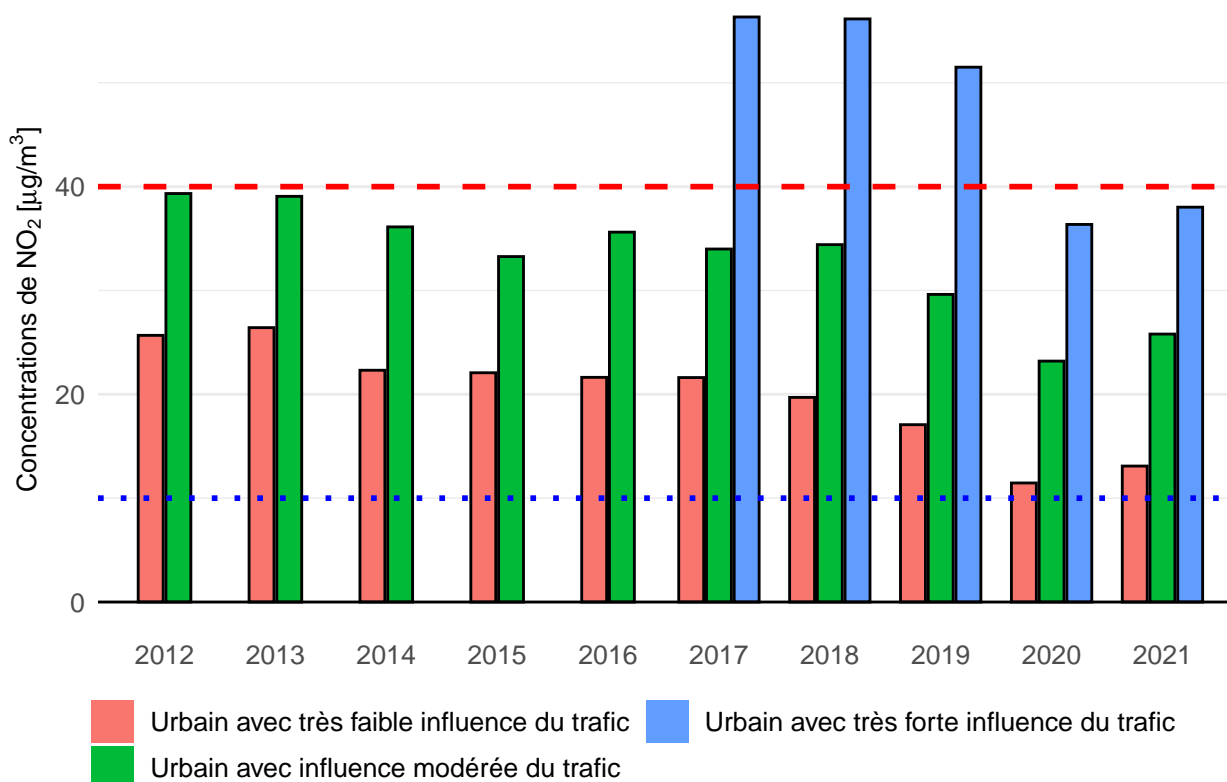


Figure 3.7 – Concentrations moyennes annuelles de NO₂ des stations pour certains types d’environnements en RBC sur les dix dernières années [µg/m³]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³ et la valeur annuelle recommandée par l’OMS de 10 µg/m³ est indiquée par le trait pointillé bleu. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

seuil n’a cependant pas été dépassé du tout.



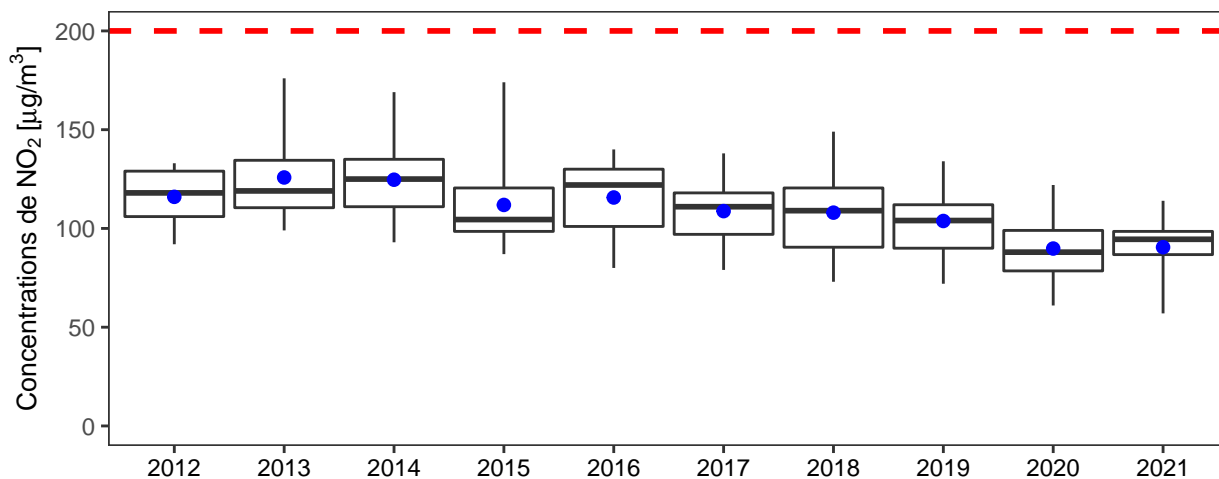


Figure 3.8 – 19^{ème} concentration horaire maximale de NO₂ par an pour la RBC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] sur les dix dernières années. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite horaire européenne identique à la valeur horaire recommandée par l’OMS de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.4.3 Moyenne journalière (OMS 2021)

On peut voir sur la Figure 3.9 que depuis 10 ans, la valeur journalière recommandée par l’OMS en 2021 (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec 3 à 4 dépassements recommandés) est très fréquemment dépassée dans toutes les stations de la RBC.

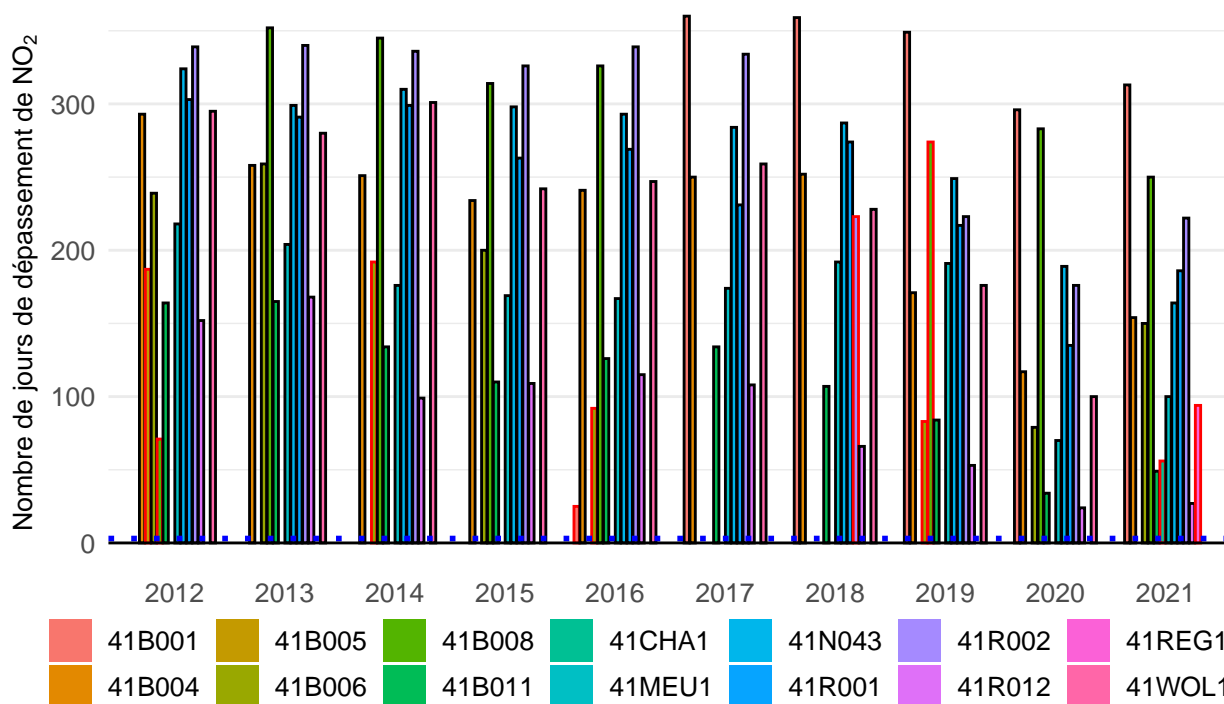


Figure 3.9 – Nombre de jours de dépassement des concentrations de NO₂ de la valeur limite journalière recommandée par l’OMS pour chaque station de la RBC au cours des dix dernières années. Le nombre de jours de dépassement recommandés dans le cas le plus strict par l’OMS (3, pour la lisibilité) est indiqué par le trait pointillé bleu. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.



CHAPITRE 4 : PARTICULES EN SUSPENSION

4.1 NATURE DU POLLUANT

L'étude des concentrations de polluants particulaires constitue un enjeu crucial du point de vue de la protection de l'environnement en général ainsi que de la santé publique. Face à la diversité des composés présents sous forme de particules dans l'atmosphère, les métriques de PM_{2,5} et de PM₁₀ (*particulate matter*, particules en suspension ou particules fines) ont été établies au niveau européen et mondial. Ces métriques se basent sur une mesure de concentration massique des particules dont le diamètre aérodynamique est respectivement inférieur à 2.5 et 10 µm¹.

Contrairement aux autres polluants tels que le dioxyde d'azote ou l'ozone qui sont des composés purs, les particules fines regroupent par définition toute une série de composés solides et liquides en suspension dans l'atmosphère, de composition chimique, de propriétés physiques et d'origines différentes.

Les particules fines peuvent être d'origine **naturelle** (activité volcanique, érosion, embruns, ...) ou **anthropique**, c'est-à-dire émises par des activités humaines. On distingue également les particules **primaires**, émises directement dans l'atmosphère, et les particules **secondaires**, c'est-à-dire formées dans l'atmosphère sur base de composés déjà présents au sein de celle-ci, lorsque les conditions météorologiques (température, humidité) sont propices à leur formation. Les particules secondaires minérales peuvent être formées à partir des nitrates (NO₃⁻) provenant notamment de la transformation des oxydes d'azote, des sulfates (SO₄²⁻), produits notamment lors de la transformation du dioxyde de soufre, et de l'ammonium (NH₄⁺) formé à partir de l'ammoniac (NH₃) émis principalement par les épandages agricoles (en particulier de mars à avril). Les particules secondaires organiques se forment sur base des composés organiques volatils (COV).

De manière générale, les particules d'origine naturelle sont majoritairement comprises dans la fraction grossière, soit entre 2.5 et 10 µm. Les particules secondaires minérales, quant à elles, sont usuellement comprises dans la fraction fine², soit de taille inférieure à 2.5 µm. Les particules originaires de la combustion, principalement d'origine anthropique (trafic, chauffage, industrie), sont également comprises pour la plupart dans la fraction fine.

À Bruxelles, les particules PM_{2,5} proviennent principalement du transport routier (26%), du chauffage résidentiel (24%) et des processus industriels (22%). Les particules PM₁₀ proviennent majoritairement du transport routier (33%), des processus industriels (21%) et du chauffage résidentiel (20%) (valeurs provenant des inventaires d'émissions bruxellois de 2019 [Bruxelles Environnement, 2020a]). On peut donc constater que même les sources **principales** de particules fines sont très diverses, contrairement aux NO_x par exemple, majoritairement émis (63%) par une source précise, le trafic routier (section 3.1). Ceci est directement lié au fait que les particules fines englobent un ensemble de substances et ne sont pas un composé pur.

Les particules fines peuvent se déposer sur les écosystèmes naturels mais ce processus dépend grandement de leur nature physique et chimique. En particulier, les nitrates, sulfates et ammonium peuvent provoquer l'acidification et l'eutrophisation des écosystèmes.

Au niveau des effets sur la santé, de manière générale, plus les particules sont fines et plus elles sont capables de pénétrer profondément dans le système respiratoire : les particules grossières (de 2.5 à 10 µm) se déposent majoritairement dans les voies respiratoires supérieures alors que les particules les plus fines (inférieures à 2.5 µm) pénètrent profondément dans le système respiratoire. Les particules fines peuvent engendrer des effets sur la santé à court et à long terme. À court terme (exposition aiguë), elles peuvent aggraver certains problèmes de santé respiratoires comme l'asthme. Les effets à long terme (exposition chronique) sont bien plus importants au niveau de la santé que les effets à court terme : ceux-ci incluent une augmentation du risque d'affections cardio-vasculaires, de maladies respiratoires et pulmonaires, y compris le cancer du poumon [WHO, 2020], [EEA, 2019].

¹Les particules fines sont rarement sphériques. Le diamètre aérodynamique correspond au diamètre équivalent d'une particule sphérique de densité unitaire de même vitesse de chute terminale que la particule considérée.

²Ici, la terminologie « fraction fine » est à lire par opposition à « fraction grossière » et est indépendante du terme « particules fines » qui désigne à la fois les PM_{2,5} et les PM₁₀.



4.2 RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE ET VALEURS RECOMMANDÉES PAR L'OMS

Les PM₁₀ comme les PM_{2.5} font l'objet d'une réglementation au niveau européen ainsi que de valeurs recommandées par l'OMS. La mesure des particules fines s'inscrit dans le cadre de la directive européenne 2008/50/CE (et de sa révision 2015/1480/CE).

La directive prévoit deux valeurs limites pour les PM₁₀ :

- une valeur limite journalière de 50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 35 fois par an (35 jours par an),
- une valeur limite annuelle de 40 µg/m³,

et une valeur limite annuelle de 25 µg/m³ pour les PM_{2.5} (depuis 2015).

Les valeurs recommandées par l'OMS ont été mises à jour en 2021 et sont plus strictes que les valeurs européennes, que ce soit au niveau des seuils ou des nombres de dépassements autorisés.

Pour les PM₁₀, les valeurs recommandées par l'OMS sont :

- une valeur journalière recommandée de 45 µg/m³ (3 à 4 dépassements recommandés par an, selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99),
- une valeur annuelle recommandée de 15 µg/m³.

Pour les PM_{2.5}, les valeurs recommandées par l'OMS en 2021 sont :

- une valeur journalière recommandée de 15 µg/m³ (3 à 4 dépassements recommandés par an, selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99),
- une valeur annuelle recommandée de 5 µg/m³.

En particulier, la valeur annuelle recommandée de 5 µg/m³ est extrêmement basse, car elle est de l'ordre de grandeur de la concentration de fond rural, c'est-à-dire la concentration minimale que l'on mesure généralement partout en Europe (et dans le monde).

La directive 2008/50/CE prévoit également le calcul d'un « indicateur d'exposition moyenne » (IEM), valeur cible **nationale** dédiée à évaluer l'exposition de la population aux particules PM_{2.5}. L'IEM est défini comme la moyenne sur trois ans des concentrations de PM_{2.5} mesurées dans des stations dont l'environnement est représentatif de la pollution de fond urbaine, à Bruxelles et dans les deux autres Régions. En Région de Bruxelles-Capitale (RBC), les stations prises en compte sont les stations d'Uccle (41R012) et de Molenbeek-Saint-Jean (41R001), représentatives de l'exposition globale de la population. Une valeur limite pour la Belgique de 20 µg/m³ a été fixée pour 2015 ainsi qu'un objectif de réduction national à atteindre en 2020. Ce pourcentage de réduction a été calculé sur base des données de 2009-2010-2011, ce qui fournit un IEM de base de 19 µg/m³ pour la Belgique. Dans cette gamme de valeurs et selon les critères de la directive, ceci demande une réduction de 20% pour 2020, soit d'atteindre un IEM de 15.2 µg/m³. En 2019, l'IEM belge était déjà de 12.3 µg/m³ et remplissait donc déjà l'objectif pour 2020 [IRCEL-CELINE, 2020].

4.3 MESURES ACTUELLES DE PM₁₀

Dans cette section, nous analysons les concentrations de particules fines PM₁₀ durant l'année 2021, en particulier vis-à-vis des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l'OMS. En 2021, la concentration annuelle en PM₁₀ a stagné, en moyenne sur les stations, par rapport à 2020. À titre de comparaison, en 2020 et en 2019, on avait enregistré une diminution de l'ordre de 10% en moyenne par rapport à l'année précédente. Toutes les stations de mesures bruxelloises ont respecté la valeur limite européenne annuelle et journalière pour les PM₁₀ en 2021. La nouvelle valeur annuelle recommandée par l'OMS est respectée aux deux stations de fond urbain, et la nouvelle valeur journalière recommandée est respectée en trois stations de mesure.

4.3.1 Moyenne annuelle

La valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³ pour les PM₁₀ est largement respectée en RBC en 2021, comme on peut le voir sur la Figure 4.1. En effet, le respect de la valeur limite annuelle de 40 µg/m³ n'est plus problématique depuis plus de 10 ans, comme on le verra à la section 4.4. Si l'on compare les concentrations en 2021 à la nouvelle valeur annuelle recommandée par l'OMS de 15 µg/m³, beaucoup plus stricte, on peut en outre constater que les stations de Berchem-Sainte-Agathe (41B011) et d'Uccle (stations de fond urbain) la respectent avec une moyenne annuelle de 15 µg/m³. La station de Molenbeek-Saint-Jean la dépasse, bien que marginalement (16 µg/m³). La station de Haren (41N043), quant à elle, la dépasse plus nettement (23 µg/m³). Ce dépassement est très probablement dû à la remise en suspension des particules les plus grossières,



phénomène lié à l'activité industrielle avoisinante et affectant la fraction des particules PM₁₀ de taille comprise entre 2.5 µm et 10 µm.

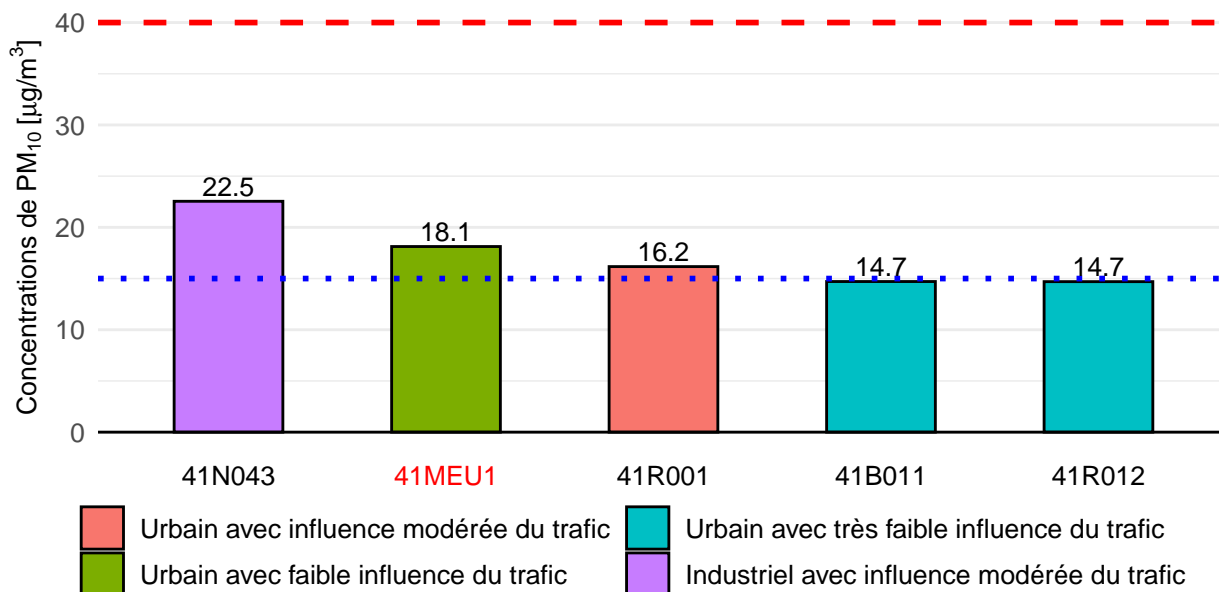


Figure 4.1 – Concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ pour chaque station de la RBC en 2021 [µg/m³]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l’OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

4.3.2 Moyenne journalière

Le nombre de jours de dépassement pour chaque station de mesure en 2021 de la valeur limite journalière européenne est présenté sur la Figure 4.2. On peut constater que la valeur limite journalière européenne est largement respectée dans toutes les stations de mesure avec un maximum de 16 dépassements à Haren alors que la directive en autorise 35. Cette valeur limite journalière est respectée à Bruxelles depuis 2014.

En ce qui concerne la valeur journalière recommandée par l’OMS de 2021, celle-ci n’autorise que 3 à 4 dépassements par an (selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99) et on peut voir que la station de Haren la dépasse largement avec 20 dépassements. La station de Neder-Over-Heembeek (41MEU1) la dépasse marginalement avec 4 dépassements, mais ne dispose pas de 85% de données requis pour conclure sur le nombre exact de dépassements. Les autres stations de mesure respectent quant à elles la nouvelle valeur journalière recommandée par l’OMS.

En complément d’information, les concentrations moyennes journalières maximales (soit chaque jour, la valeur journalière la plus élevée mesurée en RBC, toutes stations confondues) sont présentées sur la Figure 4.3.

4.4 MESURES HISTORIQUES DE PM₁₀

Nous analysons dans cette section l’évolution des concentrations de particules fines PM₁₀ durant les dix dernières années. De manière générale, les concentrations de particules fines sont en nette décroissance en RBC, en Belgique [IRCEL-CELINE, 2021] et dans le nord-ouest de l’Europe [EEA, 2020], en raison des mesures de diminution des émissions et des avancées technologiques (amélioration des filtres à particules notamment). En RBC, la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m³ pour les PM₁₀ est respectée depuis plus de 10 ans (voir Figure 4.4) et la valeur limite journalière de 50 µg/m³ (à ne pas dépasser plus de 35 fois par an) depuis 2014.

4.4.1 Moyenne annuelle

On peut observer la décroissance très nette des concentrations de particules fines au cours des années grâce aux Figures 4.4 et 4.5 qui présentent les concentrations annuelles pour toutes les stations de la RBC. Ces dix dernières années, toutes les stations de mesure ont respecté la valeur limite européenne. En outre, cette amélioration continue des concentrations implique que de plus en plus de stations respectent la nouvelle valeur annuelle recommandée par l’OMS de 15 µg/m³.



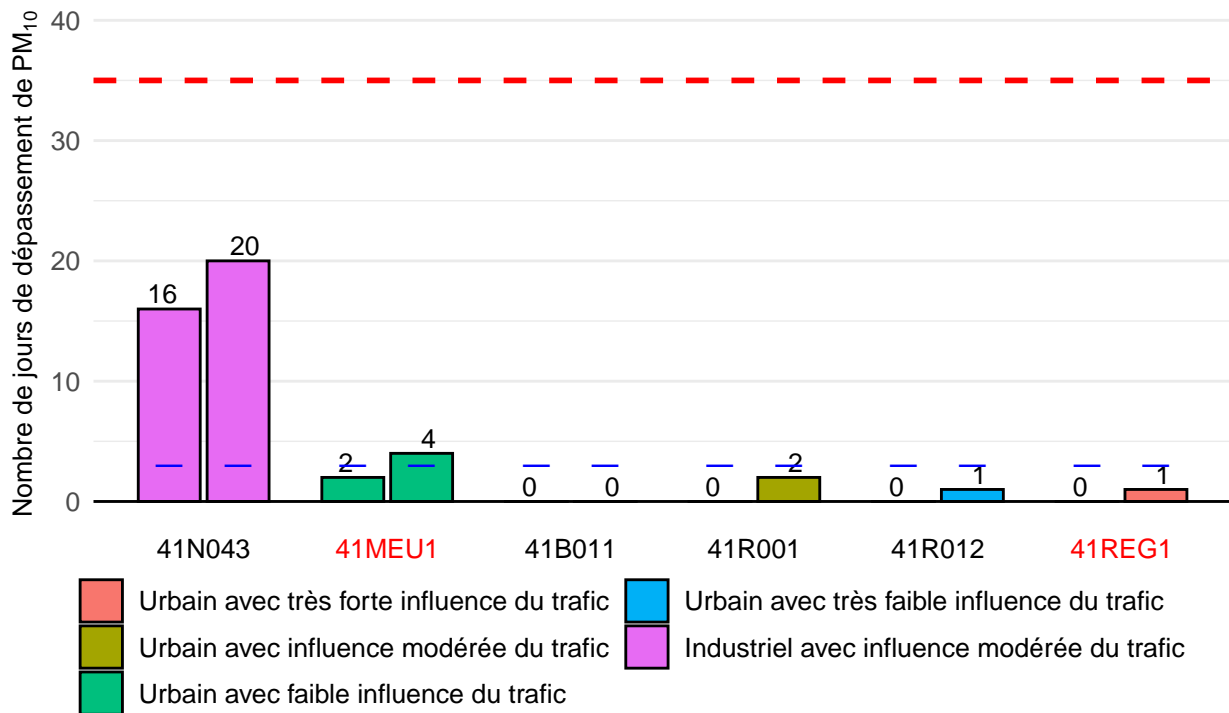


Figure 4.2 – Nombre de jours de dépassement des concentrations de PM_{10} de la valeur limite journalière pour chaque station de la RBC en 2021. Le nombre de jours de dépassement autorisés par la directive européenne 2008/50/CE (35) est indiqué par le trait pointillé rouge et le nombre de dépassements recommandés par l’OMS (3 à 4) est indiqué par le trait bleu dans les bâtonnets. Les bâtonnets de gauche correspondent à la valeur limite journalière européenne ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) correspondant à la précédente valeur recommandée par l’OMS de 2005 (mais avec 3 dépassements) et les bâtonnets de droite correspondent à la nouvelle valeur limite journalière ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) recommandée par l’OMS en 2021 (avec 3 à 4 dépassements selon la saisie annuelle de données). Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

4.4.2 Moyenne journalière

Les Figures 4.6 et 4.7, respectivement, représentent le nombre de jours de dépassement de la valeur limite journalière de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de la valeur journalière recommandée par l’OMS (2021) de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivement, pour chaque station de mesure individuelle.

On observe sur ces figures que :

- C’est principalement la station de Haren qui empêchait autrefois le respect de la valeur limite journalière européenne en dépassant largement les 35 jours autorisés. En 2014, la station de Haren a respecté de justesse la norme européenne, en enregistrant 33 dépassements, mais depuis 2015, toutes les stations restent loin des 35 jours de dépassement. Ceci a été rendu possible entre autres grâce à la mise en place de mesures de contrôle des émissions des activités industrielles avoisinant la station de Haren (voir encart « Mesures de contrôle des émissions à Haren »).
- C’est à nouveau principalement la station de Haren qui compromet le respect de la valeur journalière recommandée par l’OMS (2021) en dépassant nettement les 3 à 4 dépassements recommandés.

À la lumière de l’étude des nombres de jours de dépassement de la norme de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l’amélioration continue de la qualité de l’air en ce qui concerne les concentrations de PM_{10} s’observe donc à nouveau.

Mesures de contrôle des émissions à Haren

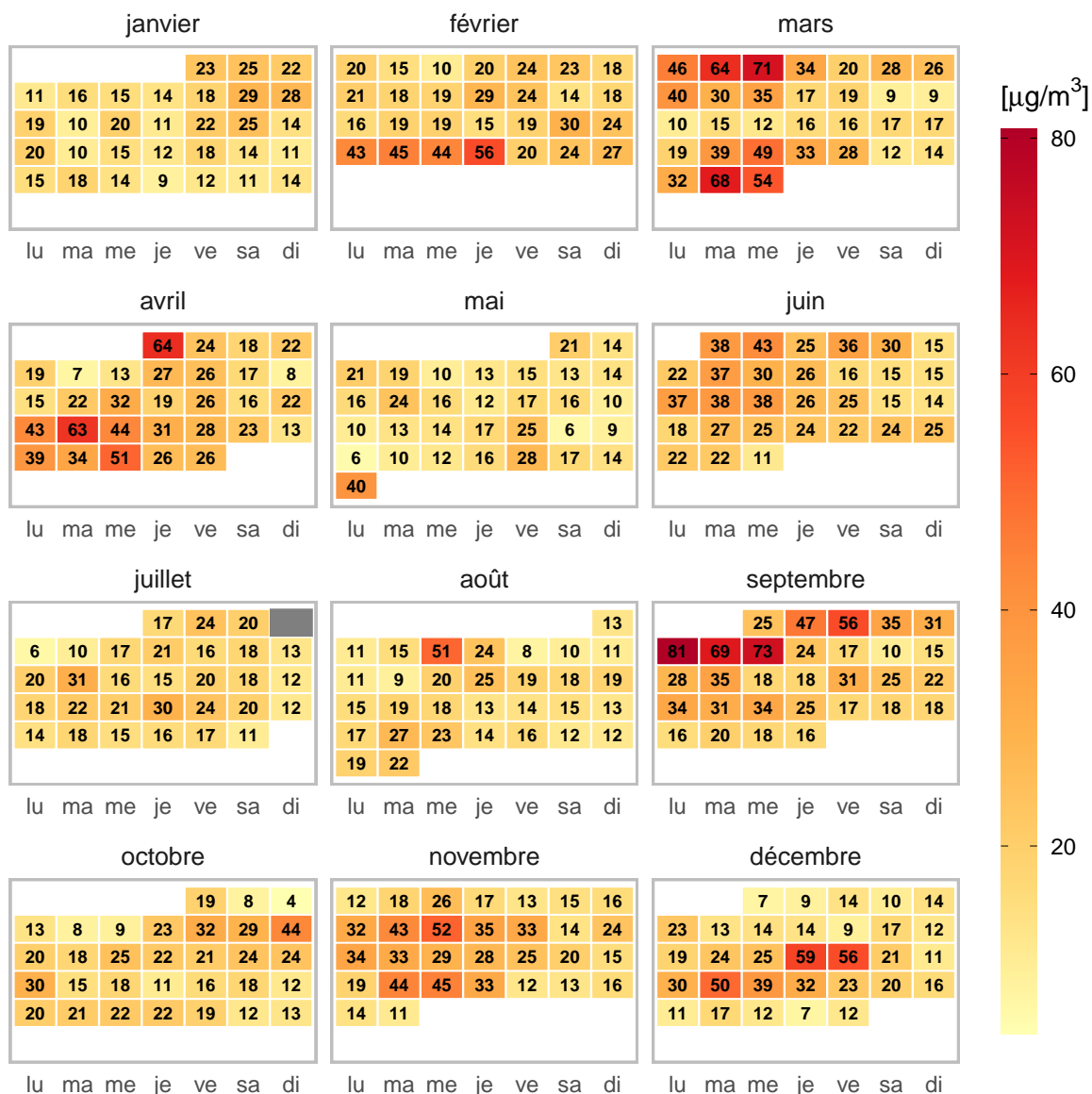
Des inspections ont permis d’établir une liste des sites et des entreprises les plus susceptibles de générer ou de provoquer une remise en suspension de particules fines dans l’air (sites prioritaires). Une vérification du respect des conditions d’exploitation édictées dans les permis d’environnement de ces sites et entreprises prioritaires, et plus spécifiquement le respect des conditions relatives à la gestion des poussières a été réalisée.

Cette vérification a mis en évidence que les conditions d’exploitation reprises dans les permis n’étaient d’une part, pas toujours respectées et étaient, d’autre part, souvent insuffisantes. Certaines sources de poussières comme les quais de chargement/déchargement ou des voies d’accès sortaient en outre du



Concentrations moyennes journalières maximales de PM₁₀

2021



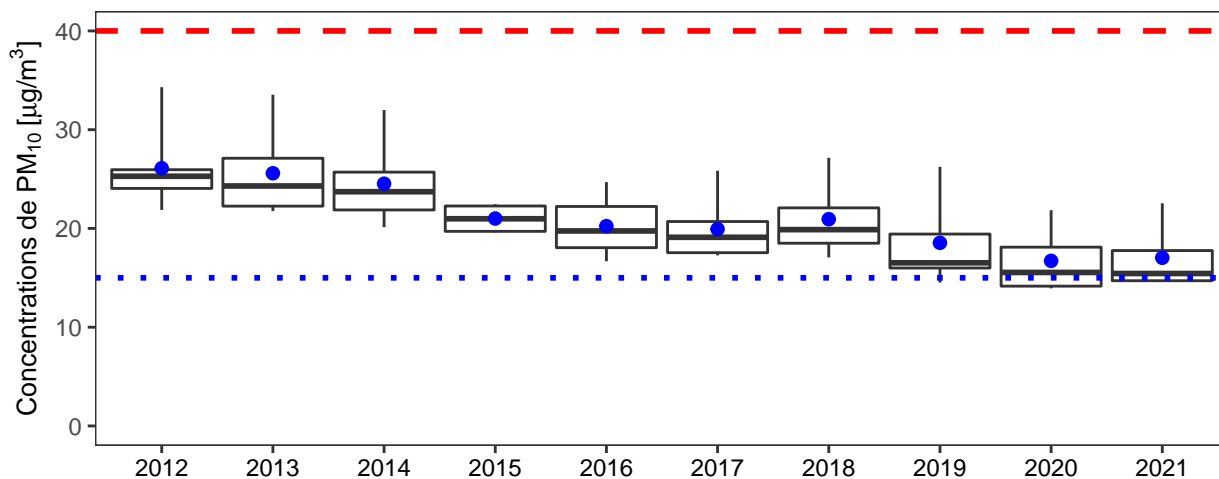


Figure 4.4 – Concentrations annuelles de PM_{10} de toutes les stations pour la RBC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l’OMS est indiquée par le trait pointillé bleu.

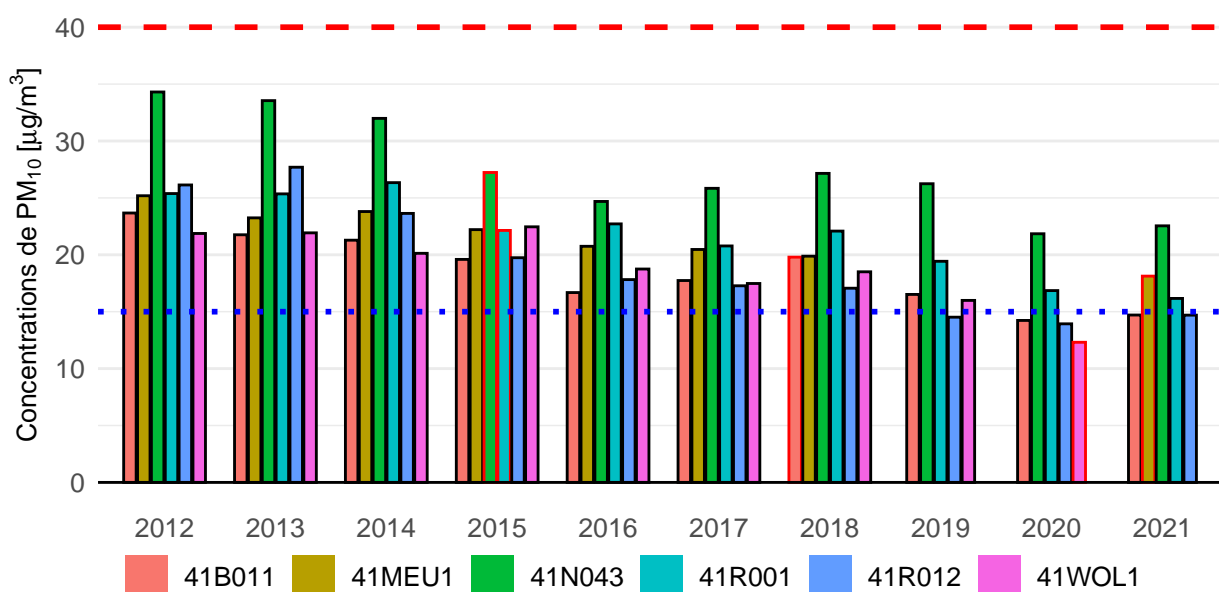


Figure 4.5 – Concentrations annuelles de PM_{10} de toutes les stations pour la RBC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l’OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

4.5 MESURES ACTUELLES DE $PM_{2,5}$

Dans cette section, nous analysons les concentrations de particules fines $PM_{2,5}$ durant l’année 2021, en particulier vis-à-vis des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l’OMS. En 2021, la concentration annuelle en $PM_{2,5}$ a augmenté de 15% en moyenne par rapport à 2020, à comparer à une diminution de l’ordre de 20% entre 2019 et 2020. Toutes les stations de mesures de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC) ont respecté la valeur limite européenne annuelle de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $PM_{2,5}$.

4.5.1 Moyenne annuelle

On peut voir sur la Figure 4.8 que la valeur limite annuelle européenne de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est respectée largement dans toutes les stations de mesure en 2021, avec une moyenne annuelle maximale enregistrée à Haren de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En ce qui concerne la nouvelle valeur recommandée par l’OMS de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur extrêmement stricte), celle-ci n’est respectée nulle part en RBC. À titre de comparaison, en 2021, seules trois stations en Belgique très peu exposées ont respecté de justesse la valeur annuelle recommandée par l’OMS (en mesurant $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ exactement). Cette valeur est comparable à l’ordre de grandeur du fond européen (transfrontière) de concentration de $PM_{2,5}$ et n’autorise donc, en un sens, aucune autre source plus locale.



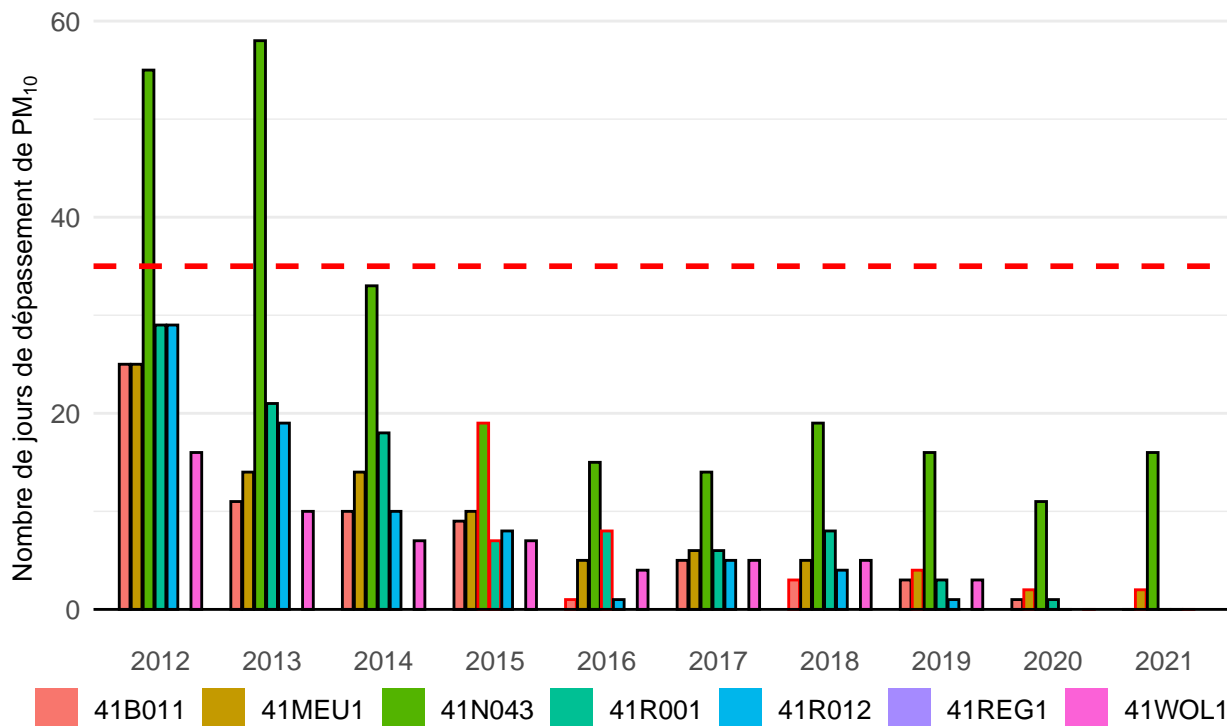


Figure 4.6 – Nombre de jours de dépassement des concentrations de PM_{10} de la valeur limite journalière de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour chaque station de la RBC au cours des dix dernières années. Le nombre de jours de dépassement autorisés par la directive européenne 2008/50/CE (35) est indiqué par le trait pointillé rouge. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée et que le nombre de jours de dépassement ne dépasse pas le nombre de jours autorisés par la norme européenne. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

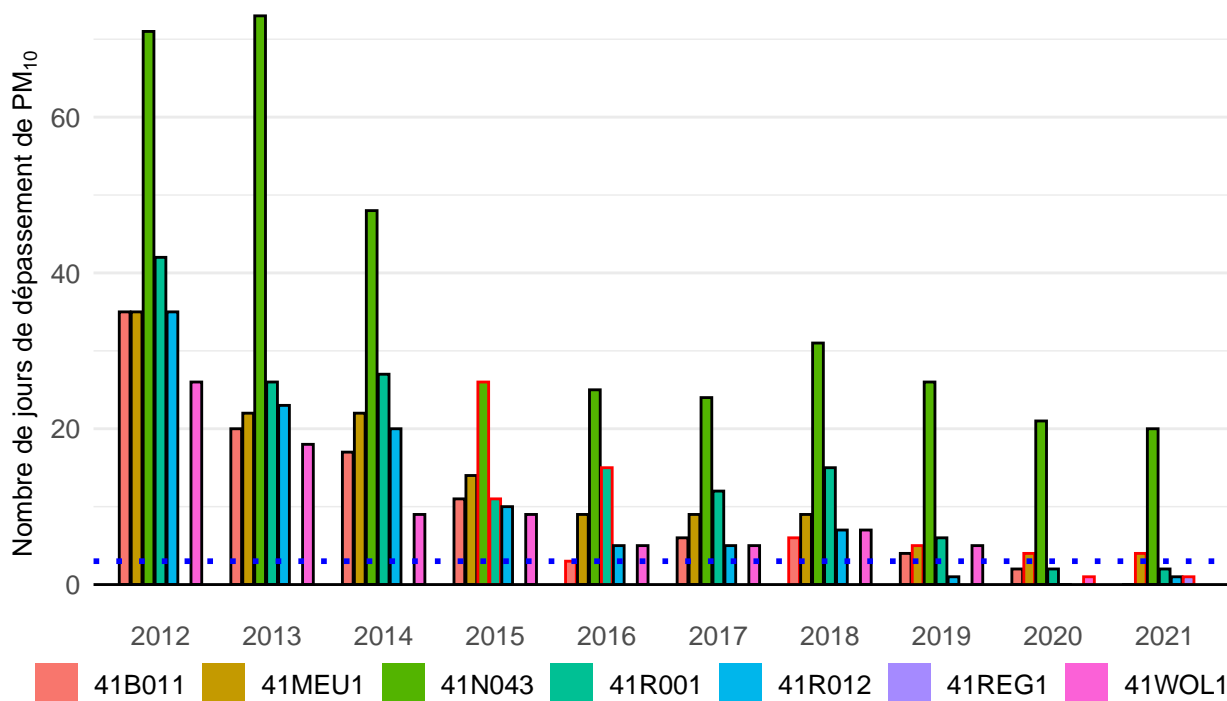


Figure 4.7 – Nombre de jours de dépassement des concentrations de PM_{10} de la valeur journalière recommandée par l'OMS de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour chaque station de la RBC au cours des dix dernières années. Le nombre de jours de dépassement autorisés par l'OMS dans le cas le plus strict (3, pour la lisibilité) est indiqué par le trait pointillé bleu. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

4.5.2 Moyenne journalière

La directive européenne 2008/50/CE ne prévoit pas de valeur journalière pour les $PM_{2.5}$. Seule l'OMS recommande une valeur journalière de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 3 à 4 fois par an, selon la saisie annuelle



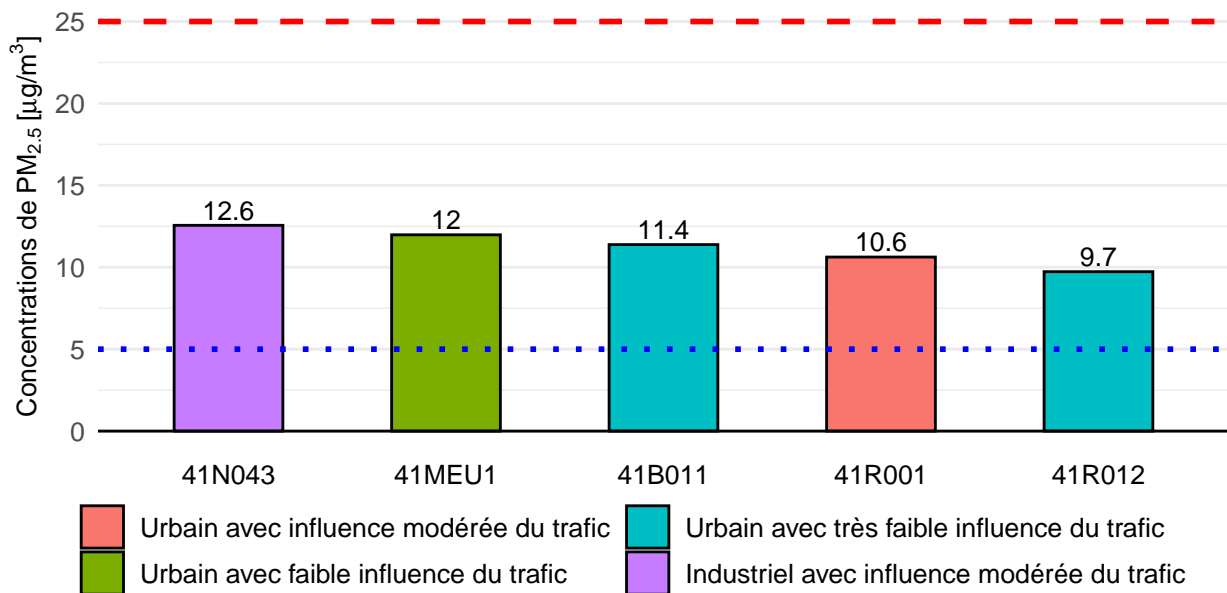


Figure 4.8 – Concentrations moyennes annuelles de $PM_{2.5}$ pour chaque station de la RBC en 2021 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l'OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

de données (correspondant au centile 99). Cette valeur est dépassée largement dans toutes les stations bruxelloises en 2021, y compris dans les stations urbaines de fond (Uccle et Berchem-Sainte-Agathe, voir Figure 4.9). Remarquons qu'elle est dépassée également dans toutes les stations de mesure en Belgique en 2021.

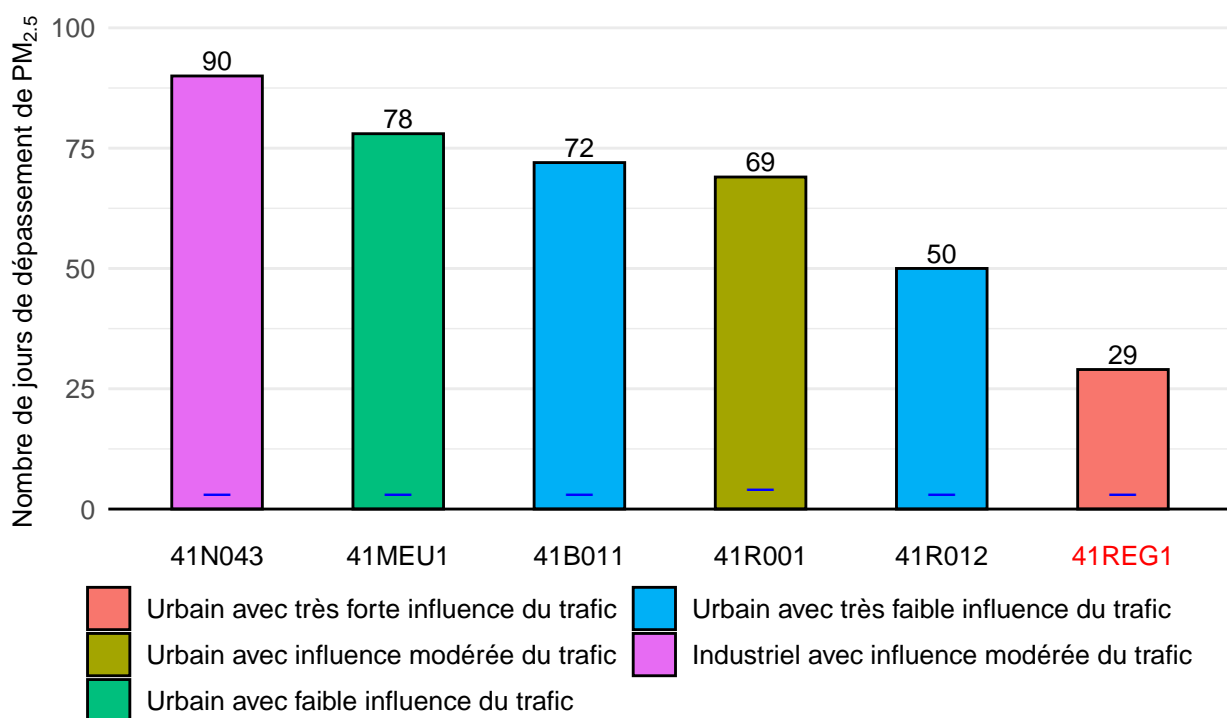


Figure 4.9 – Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l'OMS pour les $PM_{2.5}$ de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour chaque station de la RBC en 2021. Le nombre de dépassements recommandés par l'OMS (3 à 4) est indiqué par le trait bleu dans les bâtonnets. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

4.6 MESURES HISTORIQUES DE $PM_{2.5}$

Nous analysons dans cette section l'évolution des concentrations de particules fines $PM_{2.5}$ durant les dix dernières années. De manière générale, les concentrations de particules fines sont en nette décroissance en RBC,



en Belgique [IRCEL-CELINE, 2021] et dans le nord-ouest de l'Europe [EEA, 2020], en raison des mesures de réduction des émissions et des avancées technologiques (amélioration des filtres à particules sur les voitures notamment). À Bruxelles, la valeur limite annuelle européenne de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2.5}$ est respectée depuis plus de dix ans, et bien avant son entrée en vigueur en 2015.

4.6.1 Moyenne annuelle

On peut observer l'évolution des concentrations annuelles de $\text{PM}_{2.5}$ au cours des dix dernières années sur les Figures 4.10 et 4.11, individuellement pour chaque station et sous forme de boîtes à moustaches, respectivement. On peut constater que la valeur limite annuelle européenne de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est respectée dans toutes les stations depuis plus de dix ans et en particulier depuis son entrée en vigueur en 2015. On constate également sur ces figures l'amélioration notoire des concentrations de $\text{PM}_{2.5}$ dans toutes les stations au cours des années : alors qu'avant 2015, toutes les stations mesuraient des concentrations moyennes annuelles typiquement comprises entre 15 et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en 2019, celles-ci sont comprises entre 10 et $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En 2021, les concentrations annuelles sont comprises entre 10 et $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

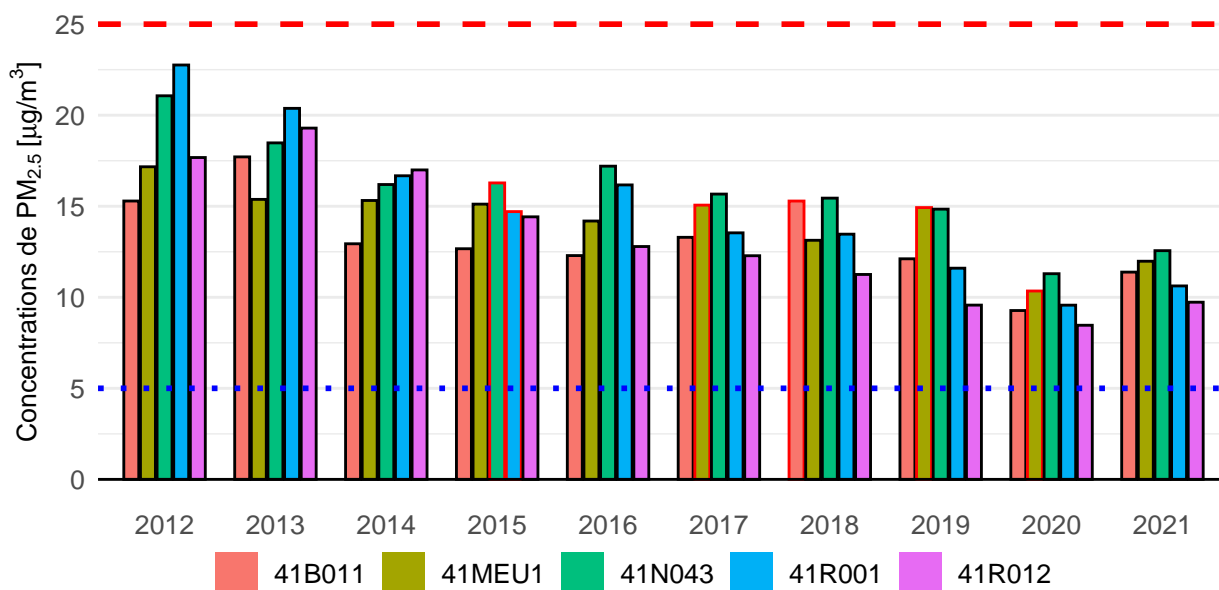


Figure 4.10 – Concentrations moyennes annuelles de $\text{PM}_{2.5}$ de toutes les stations pour la RBC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur recommandée par l'OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

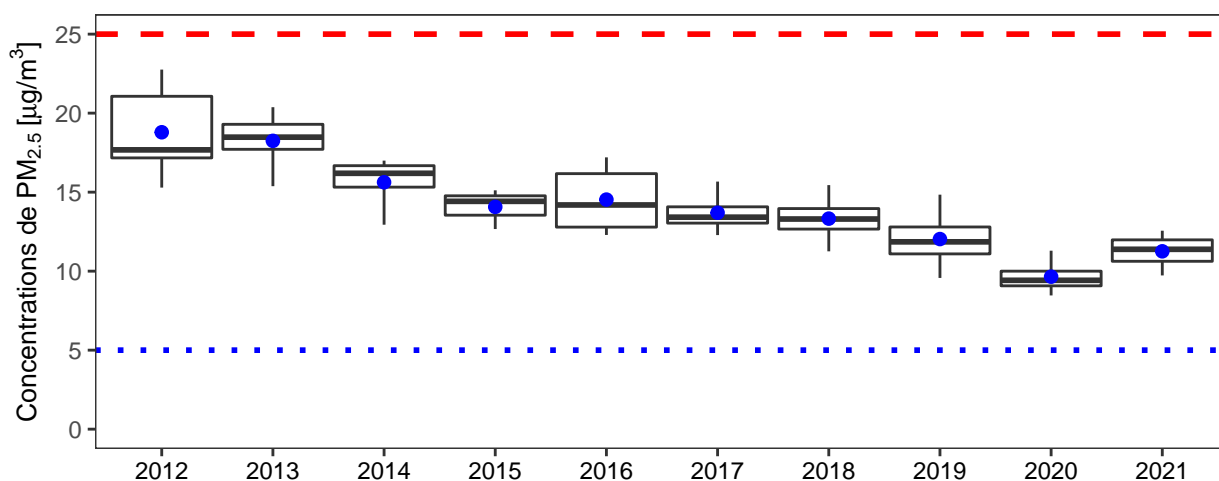


Figure 4.11 – Concentrations moyennes annuelles de $\text{PM}_{2.5}$ de toutes les stations pour la RBC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur recommandée par l'OMS est indiquée par le trait pointillé bleu.



4.6.2 Moyenne journalière

Comme déjà mentionné à la section 4.5.2, la directive ne prévoit pas de valeur limite à court terme pour les $PM_{2.5}$. Le nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l'OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au cours des dix dernières années est montré sur les Figures 4.12 et 4.13, respectivement, pour chaque station individuelle et sous forme de boîtes à moustaches. On peut constater que, malgré l'amélioration notable des concentrations de $PM_{2.5}$ en moyenne journalière au cours du temps et la forte diminution du nombre de dépassements de la valeur recommandée par l'OMS, toutes les stations de mesure restent cependant encore très loin des 3 à 4 dépassements recommandés.

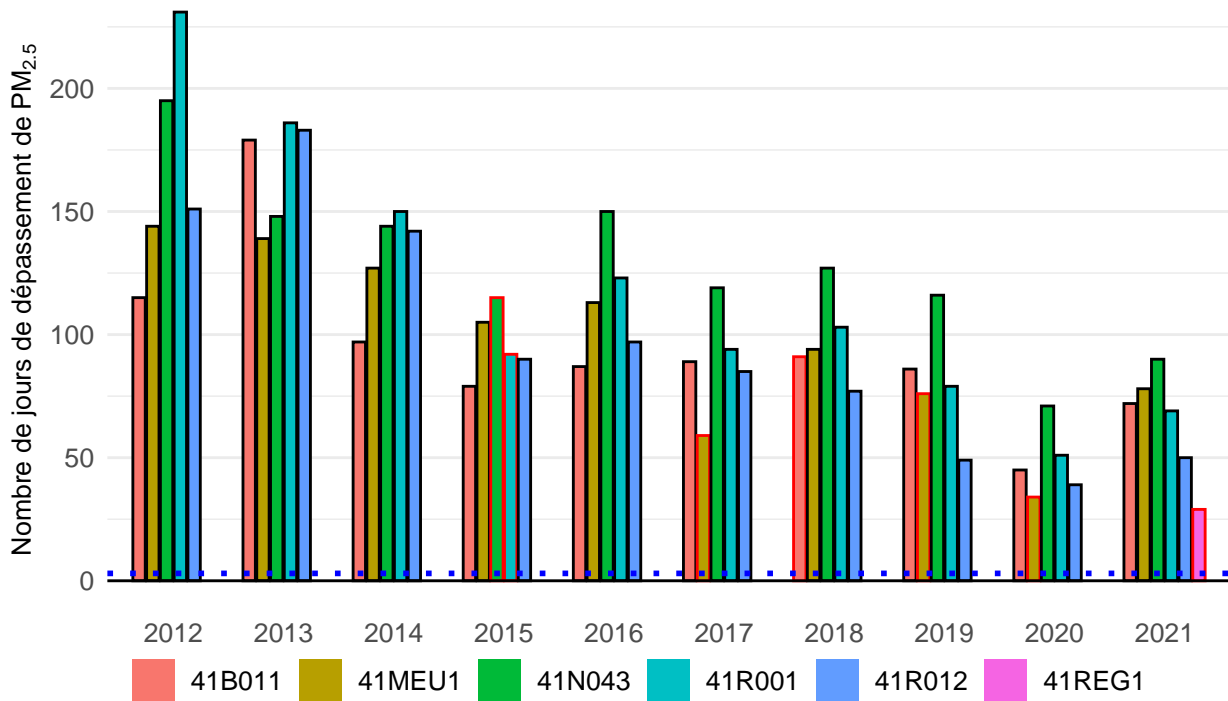


Figure 4.12 – Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l'OMS pour les $PM_{2.5}$ de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour chaque station de la RBC pour les dix dernières années. Le nombre de dépassements autorisés par l'OMS dans le cas le plus strict (3, pour la lisibilité) est indiqué par le trait pointillé bleu. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

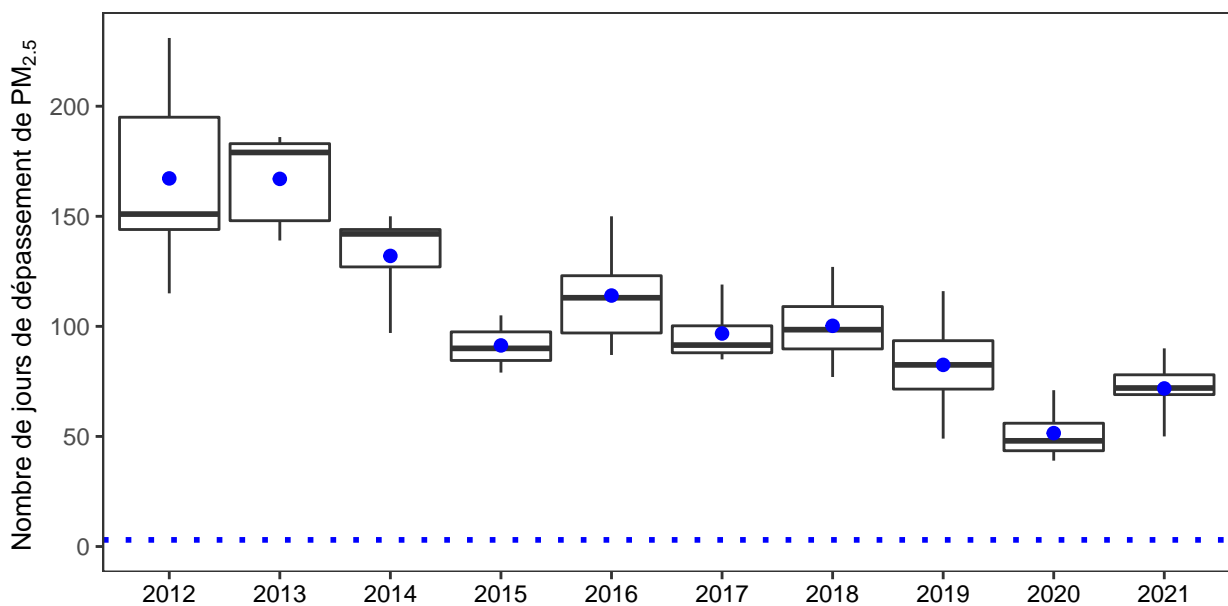


Figure 4.13 – Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l'OMS pour les $PM_{2.5}$ de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour toutes les stations de la RBC pour les dix dernières années. Le nombre de dépassements autorisés par l'OMS dans le cas le plus strict (3, pour la lisibilité) est indiqué par le trait pointillé bleu.



4.6.3 Indicateur d'exposition moyenne bruxellois

La Figure 4.14 montre l'évolution des concentrations moyennes annuelles en moyenne sur les stations d'Uccle et de Molenbeek-Saint-Jean (données en bleu foncé). La concentration en moyenne sur trois ans est indiquée par les bâtonnets bleu clair et représente l'indice d'exposition moyen (IEM) bruxellois. Au sens strict, l'IEM est défini de manière nationale mais il est intéressant de comparer les valeurs bruxelloises aux objectifs nationaux pour 2015 et 2020, respectivement de 20 et 15.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. On peut, en effet, voir que l'IEM calculé uniquement sur Bruxelles respecte les deux objectifs pour 2015 et 2020 (en 2021 également) pour l'exposition de la population aux particules $\text{PM}_{2.5}$.

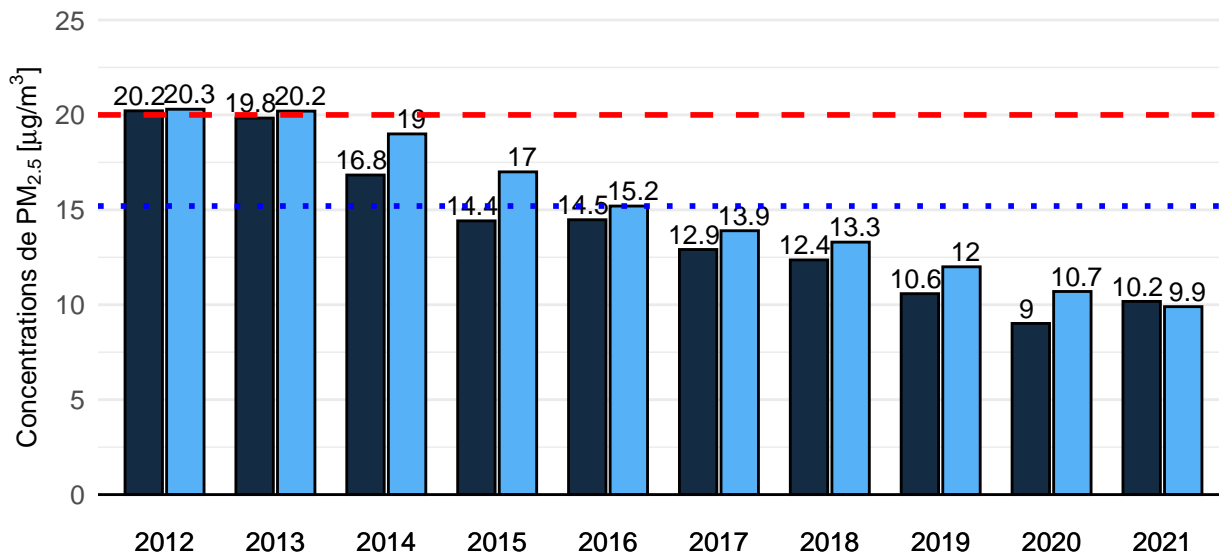


Figure 4.14 – Concentrations moyennes annuelles de $\text{PM}_{2.5}$ en moyenne sur les stations d'Uccle et de Molenbeek-Saint-Jean [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] (bâtonnets bleu foncé). L'IEM des stations bruxelloises, soit la moyenne sur trois ans des concentrations annuelles pour les stations considérées, est donné par les bâtonnets bleu clair. La ligne pointillée rouge indique l'objectif belge à l'horizon 2015, la ligne pointillée bleue l'objectif à atteindre, pour la Belgique, en 2020.

CHAPITRE 5 : OZONE

5.1 NATURE DU POLLUANT

L'ozone (O_3) est un gaz oxydant participant à la dégradation de la matière organique et est donc irritant pour les organismes vivants (les humains comme les animaux, les cultures ou forêts).

L'ozone est un polluant **secondaire**, c'est-à-dire qu'il n'est pas émis directement dans l'atmosphère mais est formé par réaction photochimique avec d'autres polluants **précurseurs**. Cette formation d'ozone a lieu dans la troposphère et on parle donc d'ozone troposphérique, par opposition à l'ozone stratosphérique (la « couche d'ozone ») qui est nécessaire à la vie sur Terre par sa filtration du rayonnement ultraviolet (UV) de haute énergie. Au niveau de la troposphère, l'ozone est produit principalement lors de journées chaudes et ensoleillées, en présence de précurseurs dont les principaux sont les oxydes d'azote (NO_x , voir chapitre 3) et les composés organiques volatils (COV).

L'ozone est toujours produit par réaction de la molécule d'oxygène O_2 avec un atome d'oxygène O [Sportisse, 2007]. Les atomes d'oxygène sont notamment issus de la dissociation photochimique (via l'action du rayonnement ultraviolet solaire) des molécules de NO_2 , comme décrit dans les équations chimiques (5.1) et (5.2) :



Cependant, le monoxyde d'azote est lui-même rapidement oxydé par l' O_3 selon (5.3) :



On voit donc que les NO_x ont un effet de précurseur mais aussi de consommateur de l' O_3 . On observe ainsi l'établissement d'un équilibre chimique entre ces polluants.

En pratique, la chimie atmosphérique de l'ozone est complexe, et beaucoup d'espèces différentes sont impliquées dans ces équilibres. C'est pourquoi les composés organiques volatils (COV, par exemple : méthane, éthène, formaldéhyde, isoprène, etc.) ont un rôle important dans la formation d'ozone. Dans la chaîne d'oxydation des COV, différents intermédiaires interviennent. L'étape critique pour la formation de l' O_3 est la consommation de NO selon la réaction suivante (5.4) :



où RO_2 et RO sont respectivement les radicaux peroxy et oxy. La réaction (5.4), en consommant le NO, favorise la production d'oxygène atomique par dissociation de NO_2 (5.1), ce qui permet finalement la production d'ozone (5.2). Le bilan global du cycle est donc le suivant (5.5) :



où RH est un hydrocarbure générique et $R'CHO$ un radical carbonyle/aldéhyde et où R' contient moins d'atomes de carbone que la chaîne initiale R. On comprend donc l'interdépendance des NO_x et des COV dans le mécanisme de formation de l' O_3 . La situation en pratique dépend aussi du **régime chimique** de la région géographique concernée, c'est-à-dire la valeur du ratio $[NO_x]/[COV]$. Ceci explique la difficulté de prendre des mesures efficaces pour réduire les concentrations d'ozone, en cas de pic de pollution notamment.

En **régime urbain**, les concentrations en NO_x sont généralement élevées. Le processus décrit ci-dessus (5.4) et (5.5) est alors limité par la concentration en COV. De ce fait, réduire les émissions de NO_x (en imposant



des mesures sur la circulation par exemple) n'aura pas pour effet de réduire la concentration d'ozone. Ceci s'explique pour deux raisons :

- Tout d'abord, comme les réactions (5.4) et (5.5) sont limitées par la concentration en COV, réduire la concentration en NO_x n'aura pas d'influence significative.
- D'autre part, les émissions de NO_x dues à la combustion dans les moteurs des véhicules produisent du NO qui contribue à consommer l'O₃ (réaction (5.3)). Ce dernier effet est local, relativement rapide (échelle horaire) et intervient hors équilibre NO_x (c'est-à-dire que le ratio [NO]/[NO₂] est localement plus élevé que loin du trafic routier), ce qui explique la forte anticorrélation entre la présence de trafic et les concentrations en ozone.

Le cas du **régime rural** est différent : non seulement, il n'y a pas de réduction de l'O₃ par l'effet du NO origininaire du trafic intense observé en milieu urbain, mais, en plus, le milieu rural est soumis à des émissions généralement supérieures de COV dits biogéniques (principalement l'isoprène émis par les végétaux). Le régime chimique est alors généralement « saturé en COV » (*high COV*), ce qui influence la chaîne d'oxydation des COV. La conséquence directe est que, contrairement au régime « saturé en NO_x » (*high NO_x*) urbain, réduire les concentrations de COV en milieu rural n'aura aucun effet sur la concentration en O₃. Par contre, une réduction des concentrations en NO_x (via des mesures globales sur les émissions, puisque le NO₂ a un temps de vie long dans l'atmosphère) aura une influence directe sur la concentration en O₃ puisque la réaction (5.4), étape limitante de la chaîne d'oxydation des COV en cas de régime saturé en NO_x, sera inhibée.

Du point de vue des effets sur la santé humaine de l'ozone, ces derniers incluent typiquement une diminution de la fonction pulmonaire et un risque d'inflammation des voies respiratoires. La végétation subit quant à elle une dégradation progressive du tissu végétal, plus impactée par une exposition chronique faible que des pics de pollution, nécessitant des ressources excédentaires et ralentissant ainsi la croissance et le rendement des cultures.

5.2 RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE ET VALEURS RECOMMANDÉES PAR L'OMS

La directive 2008/50/CE prévoit une valeur cible (non contraignante légalement) pour la protection de la santé humaine, établie sur base du NET60. Le NET60 est défini comme le nombre de jours pendant lesquels le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures dépasse le seuil de 60 ppb, soit 120 µg/m³. La valeur cible autorise 25 jours de dépassement par an du NET60, en moyenne sur trois ans.

L'objectif à long terme européen pour l'ozone ne demande *aucun* dépassement du seuil de 120 µg/m³, mais la date à laquelle cet objectif doit être atteint n'a pas encore été fixée.

Enfin, la valeur recommandée par l'OMS en 2021 pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures est quant à elle de 100 µg/m³, avec 3 à 4 dépassements recommandés, selon la saisie annuelle de données (correspondant au centile 99).

Depuis 2021, l'OMS prévoit également une valeur recommandée de 60 µg/m³ pour la moyenne des maxima journaliers de la moyenne glissante sur 8 heures, pendant la période de pics d'ozone (période chaude de l'année). Cette période de référence est définie comme la moyenne glissante sur 6 mois présentant la moyenne la plus élevée de l'année.

À côté des indicateurs de la protection de la santé, la directive prévoit également des seuils à partir desquels la population doit être informée en cas de dépassement, constaté ou prévu, soit :

- le **seuil d'information**, horaire, de 180 µg/m³, valeur à laquelle l'ozone peut avoir un effet sur la santé pour les groupes à risques (principalement les enfants, les personnes âgées et les personnes ayant des problèmes respiratoires),
- le **seuil d'alerte**, horaire, de 240 µg/m³, valeur à laquelle l'ozone peut avoir un effet sur la santé pour l'ensemble de la population.

Le suivi des concentrations d'ozone et l'envoi des bulletins d'information et d'alerte est effectué en Belgique par la cellule IRCEL-CELINE. De manière générale, comme discuté à la section 5.1, la mise en place de mesures pour la réduction des concentrations d'ozone en régime urbain est au mieux inefficace en raison de la nature secondaire de ce polluant et de son mécanisme complexe de formation.



5.3 MESURES ACTUELLES

Nous analysons dans cette section les concentrations d’ozone durant l’année 2021, en particulier vis-à-vis des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l’OMS.

On peut faire les constats généraux suivants :

- entre 2020 et 2021, la concentration annuelle en ozone a augmenté de 7% en moyenne sur les stations de mesure,
- entre 2019 et 2020, la concentration annuelle en ozone avait augmenté de 12% en moyenne et,
- entre 2018 et 2019, la concentration annuelle en ozone avait augmenté d’environ 6% en moyenne.

On peut donc constater que l’augmentation des concentrations entre 2019 et 2020 était exceptionnellement élevée. Cet effet était dû en partie aux mesures de confinement (plus ou moins strictes, selon la période de l’année) mises en place dans le cadre de la pandémie de COVID-19, qui ont eu un effet notoire sur l’intensité du trafic routier [Bruxelles Environnement, 2020b]. Les concentrations annuelles d’ozone mesurées en 2021, bien qu’inférieures à celles de 2020, sont en légère hausse par rapport à 2019, confirmant la tendance à la hausse observée.

Toutes les stations de mesures ont respecté la valeur cible européenne pour la protection de la santé humaine (voir Figure 5.2).

5.3.1 Moyenne annuelle

La concentration moyenne annuelle en ozone ne correspond à aucune valeur limite ou cible ou valeur recommandée par l’OMS. Néanmoins, il est intéressant de comparer cet indicateur d’une station à l’autre car il fournit un premier panorama des concentrations.

On peut ainsi voir sur la Figure 5.1 qu’en 2021, les concentrations moyennes annuelles les plus élevées (53 et 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivement), ont été enregistrées aux stations d’Uccle (41R012) et de Berchem-Sainte-Agathe (41B011), respectivement. Ceci n’est pas surprenant car ce sont les stations les moins exposées au trafic routier et donc aux oxydes d’azote. En effet, les concentrations d’ozone sont typiquement plus basses à proximité du trafic et plus élevées loin de celui-ci (voir section 5.1). La station de Neder-Over-Heembeek (41MEU1), station urbaine faiblement exposée au trafic routier, affiche le troisième maximum de concentration moyenne annuelle avec 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La station de Molenbeek-Saint-Jean (41R001), station urbaine avec influence modérée du trafic routier, présente quant à elle une concentration annuelle encore un peu inférieure (42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Les stations de Haren (41N043), industrielle avec influence modérée du trafic et de Sainte-Catherine (41B004), urbaine avec influence modérée du trafic, présentent enfin les concentrations les plus faibles du réseau de mesure (39 à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

5.3.2 NET60

Le nombre de jours de dépassement du seuil de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures de la concentration en ozone est présenté sur la Figure 5.2, pour l’année 2021 ainsi qu’en moyenne sur les trois dernières années (2019-2020-2021). On peut directement constater qu’en moyenne sur trois ans, la valeur cible n’est dépassée nulle part. Le nombre maximum de dépassements en moyenne sur trois ans (15,3 bâtonnets de droite) a été enregistré à la station de Berchem-Sainte-Agathe. Les nombres de jours de dépassement spécifiques pour l’année 2021 sont également indiqués par les bâtonnets de gauche et sont également inférieurs à 25. À nouveau, les stations les moins exposées au trafic routier, Uccle, Berchem-Sainte-Agathe et Neder-Over-Heembeek, présentent les valeurs les plus élevées, alors que les stations de Molenbeek-Saint-Jean, de Haren et de Sainte-Catherine présentent le moins de jours de dépassement.

La valeur recommandée par l’OMS de 2021 (3 à 4 dépassements du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures du seuil de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, selon la saisie annuelle des données, correspondant au centile 99) n’est respectée à aucune station de mesure de la RBC (minimum 13 dépassements). À titre de comparaison, cette valeur recommandée n’est respectée nulle part en Belgique en 2021.

5.3.3 Période de pics (OMS 2021)

L’OMS fournit en 2021 une nouvelle valeur recommandée pour la période de pics d’ozone. La période de référence est définie comme la moyenne glissante sur 6 mois présentant la moyenne la plus élevée de l’année. En 2021, la période de référence s’étend de mars à août pour toutes les stations de mesure, sauf pour la station de Neder-Over-Heembeek pour laquelle il s’agit de la période d’avril à septembre. La moyenne des maxima journaliers de la moyenne glissante sur 8 heures sur cette période de référence est présentée sur la Figure 5.3. On peut constater que celle-ci est dépassée à toutes les stations de mesure de la RBC, même dans les stations les plus influencées par le trafic routier.



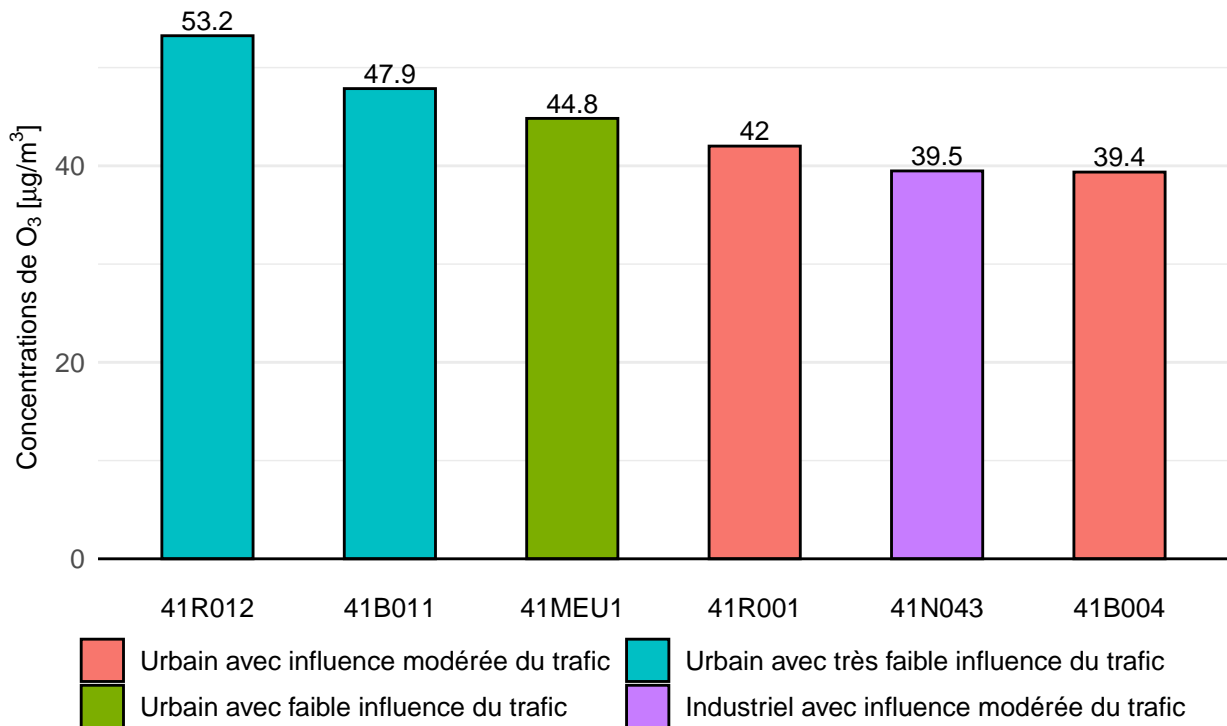


Figure 5.1 – Concentrations moyennes annuelles de O₃ pour chaque station de la RBC en 2021 [µg/m³]. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

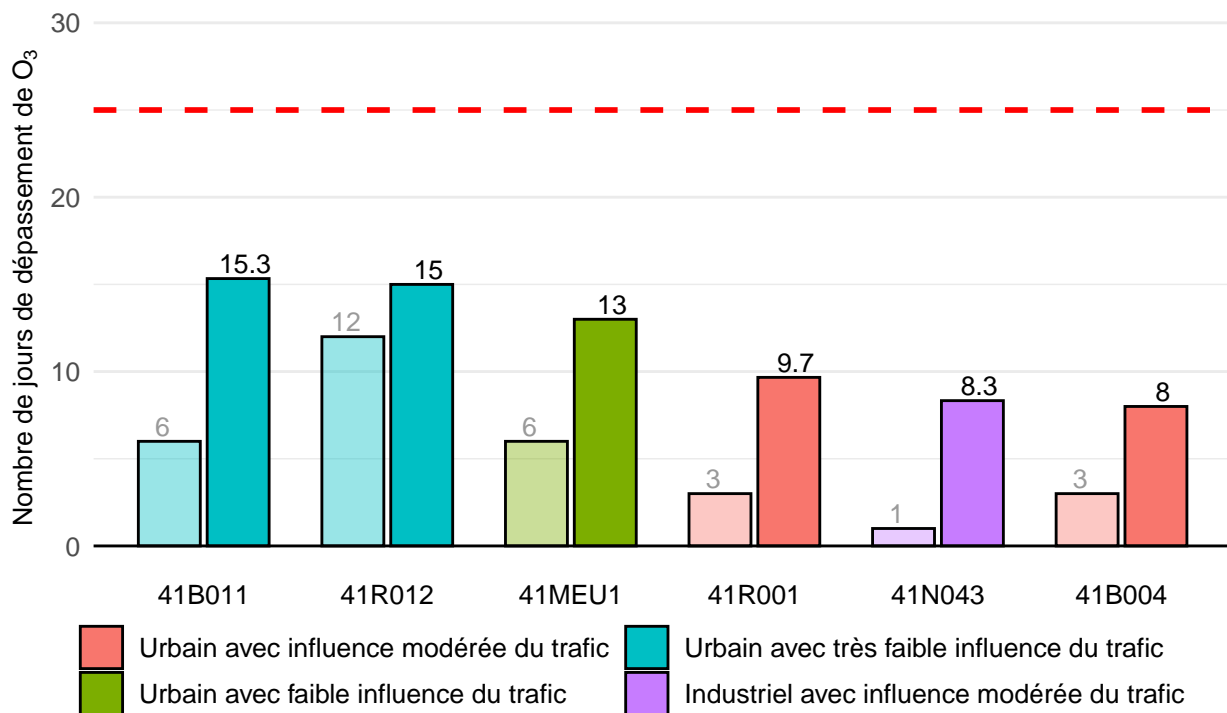


Figure 5.2 – Nombre de jours de dépassement de la valeur cible de 120 µg/m³ pour le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 heures de O₃ (NET60) pour chaque station de la RBC en 2021 (la valeur de droite représente la moyenne sur les 3 dernières années (2019-2020-2021), tandis que la valeur de gauche désigne la valeur pour l'année 2021). Le maximum de jours autorisés par an, en moyenne sur trois ans, par la directive 2008/50/CE est indiqué par le trait pointillé rouge. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

5.3.4 Maximum horaire par jour

On peut observer sur la Figure 5.4, les concentrations horaires maximales atteintes durant chaque jour de l'année 2021, afin de les comparer aux seuils d'information et d'alerte européens de 180 µg/m³ et 240 µg/m³, respecti-



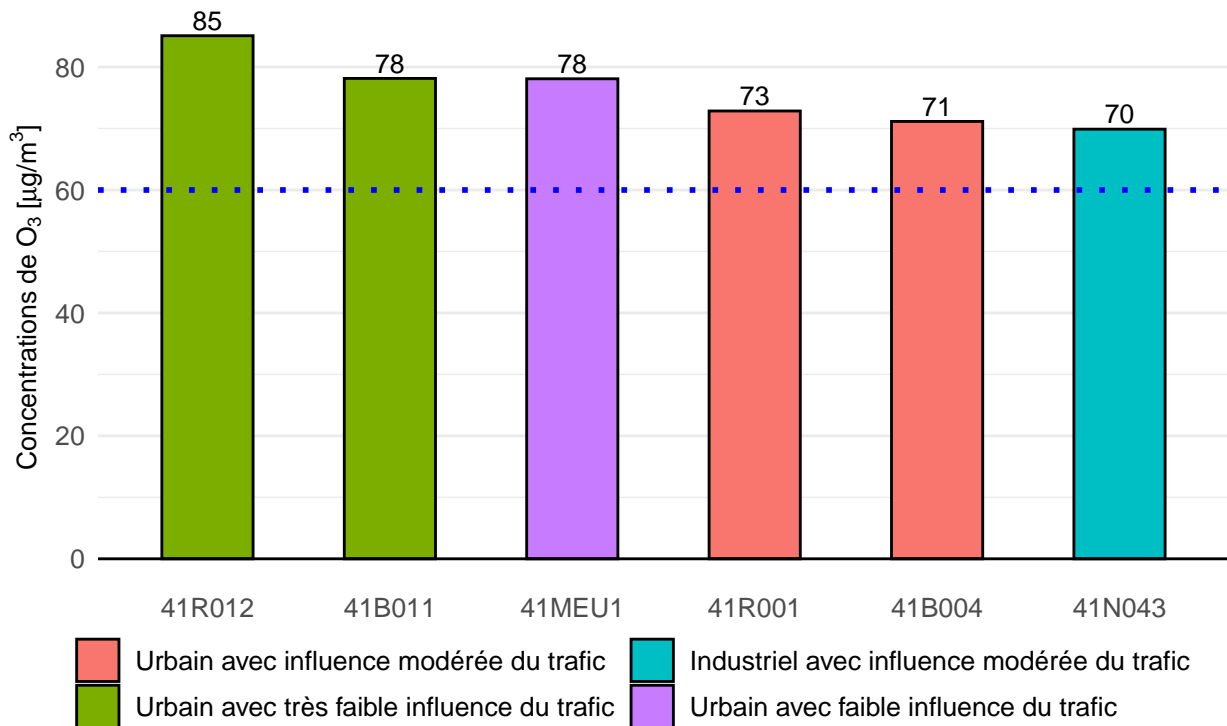


Figure 5.3 – Concentration moyenne sur une période de 6 mois de référence du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures des concentrations de O₃ pour chaque station de la RBC en 2021. La période de référence correspond à la moyenne glissante sur 6 mois la plus élevée des concentrations mensuelles de l'année considérée. Le trait pointillé bleu indique la valeur de 60 µg/m³ recommandée par l'OMS. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

vement. On constate qu'en 2021, les seuils d'information et d'alerte n'ont pas été dépassés. Remarquons que la durée d'insolation, la température moyenne et la température maximale moyenne durant le mois d'août 2021 ont été particulièrement faibles.

5.4 MESURES HISTORIQUES

Nous analysons dans cette section l'évolution des concentrations d'ozone durant les dix dernières années. De manière générale, les concentrations d'ozone « de fond », par opposition aux pics d'ozone, augmentent lentement à Bruxelles, alors que le nombre et l'intensité des pics d'ozone tendent à diminuer. Ces tendances antagonistes, observables également à l'échelle du pays [IRCEL-CELINE, 2021] et de l'Europe [EEA, 2020], sont attribuables à une combinaison complexe de la diminution locale (européenne) des émissions de précurseurs d'ozone, des fluctuations des conditions météorologiques et du transport hémisphérique de polluants précurseurs [EEA, 2018].

5.4.1 Moyenne annuelle

L'évolution des concentrations annuelles sur les dix dernières années est présentée sur la Figure 5.5. On peut voir que la moyenne (des concentrations moyennes annuelles) est plutôt stable (aux fluctuations près) jusqu'en 2016 mais croît nettement depuis lors. En 2020, la croissance par rapport à 2019 était plus marquée que la tendance jusqu'alors. En 2021, on observe une chute légère des indicateurs statistiques par rapport à 2020 : les concentrations d'ozone continuent leur lente croissance par rapport aux années 2019 et antérieures, mais retrouvent une tendance plus normale.

5.4.2 NET60

L'évolution du NET60 est présenté sur la Figure 5.6. On peut voir que le nombre de jours de dépassement fluctue fortement d'une année à l'autre, notamment en raison des conditions météorologiques. Plus de 30 jours de dépassement de la valeur cible de 120 µg/m³ ont été enregistrés en 2018 à la station de Berchem-Sainte-Agathe. Le nombre de jours de dépassement moyenné sur 3 ans maximal (indiqué par le trait en pointillé vert) est de moins de 25 jours depuis 2012 (moyenne sur 2010-2011-2012) jusqu'en 2017 et respecte dès lors la réglementation européenne. Cette valeur cible est toutefois dépassée en 2018 et en 2019, en raison d'un trop grand nombre de dépassements (27) en 2018 à la station de Neder-Over-Heembeek, non modéré par les autres



Concentrations maximales horaires par jour de O₃

2021

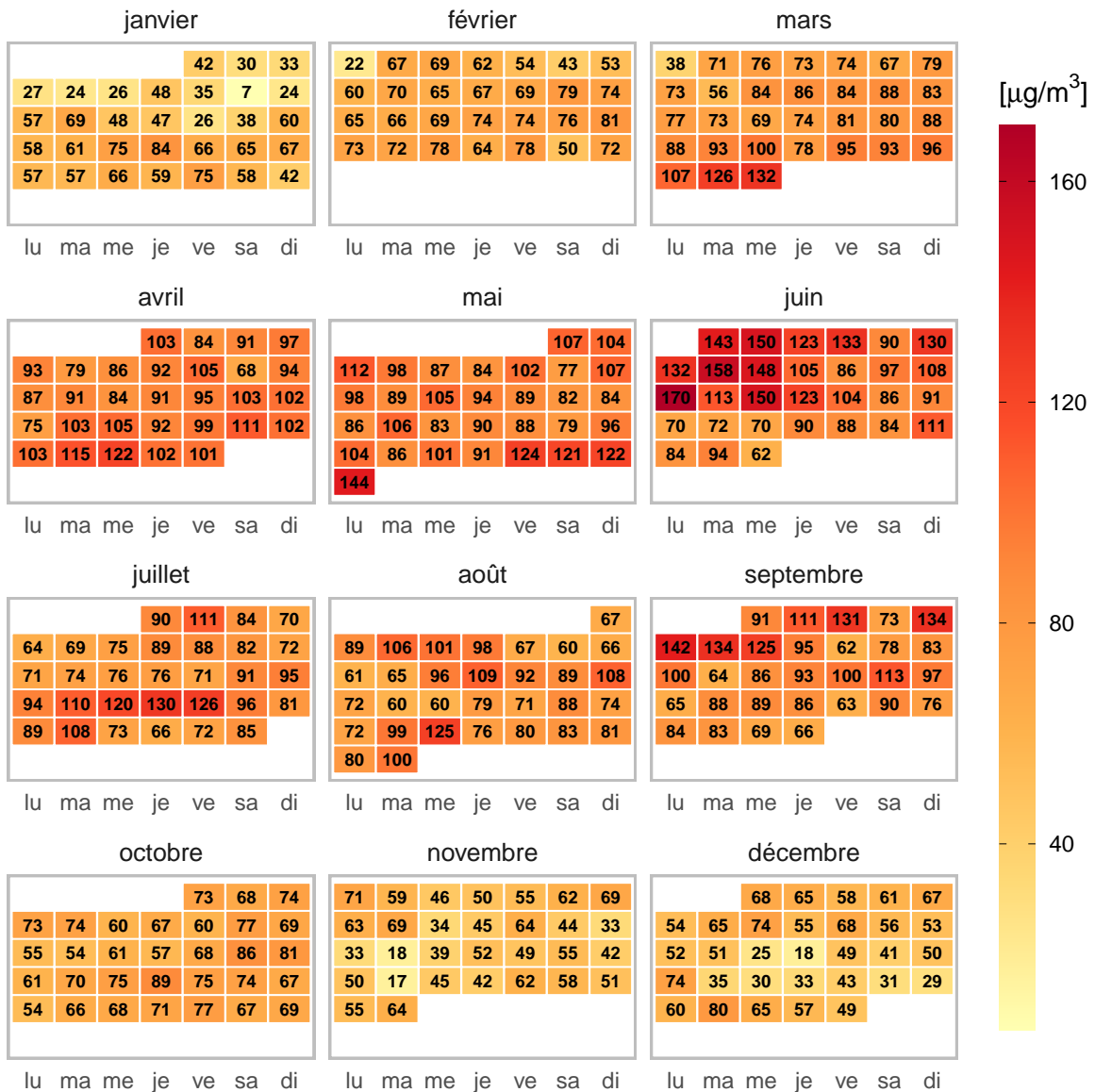


Figure 5.4 – Concentrations journalières maximales d'O₃ pour la RBC en 2021 [µg/m³]. Les jours où un dépassement du seuil d'information européen de 180 µg/m³ a été enregistré sont encadrés en noir.

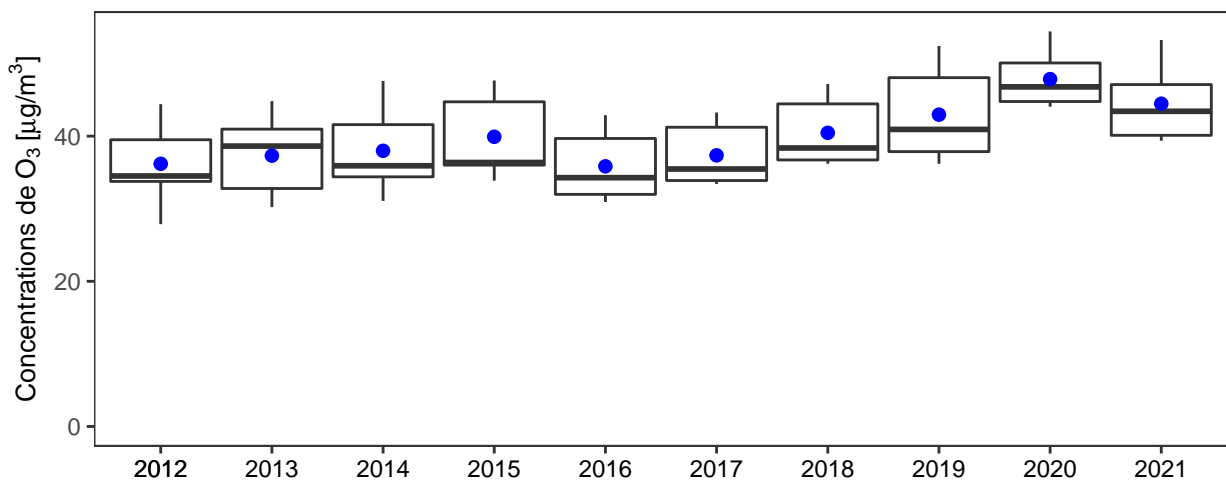


Figure 5.5 – Concentrations moyennes annuelles de O₃ de toutes les stations pour la RBC [µg/m³].



années car les valeurs pour les années 2017 et 2019 étaient indisponibles (voir section 5.3.2). On observe en outre une stagnation de cet indicateur entre 2012 et 2017, suivie depuis lors d'une tendance croissante en 2018 (et donc 2019). En 2020, le nombre de jours de dépassement moyenné sur trois ans repasse en-dessous du seuil de 25. En 2021, cet indicateur diminue encore et la valeur cible européenne pour l'ozone est donc respectée à nouveau.

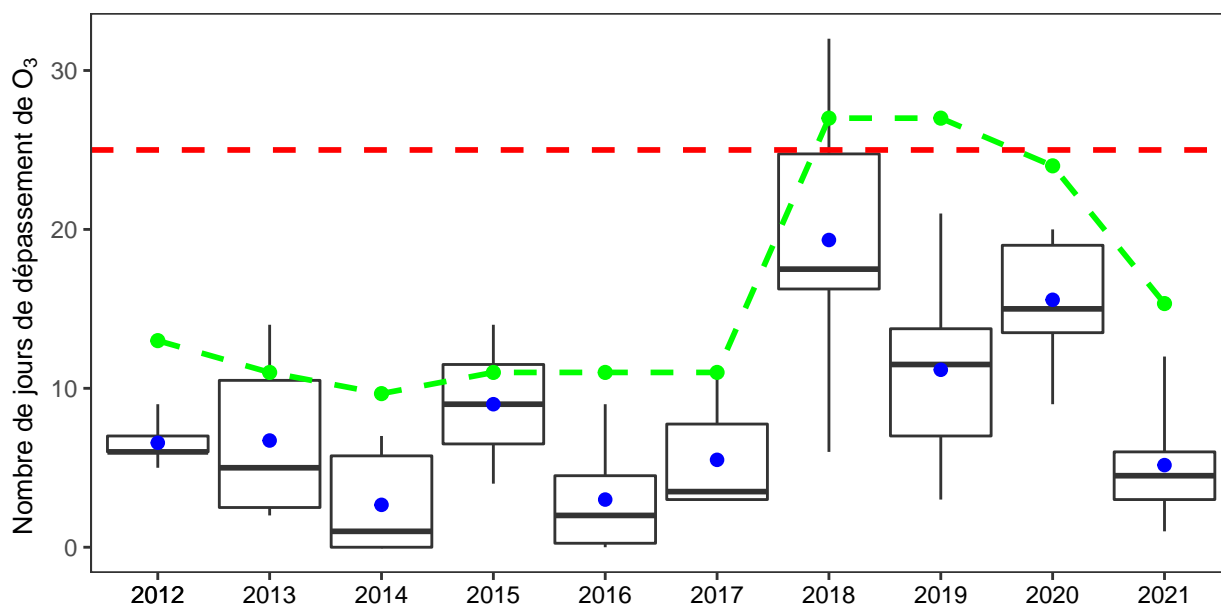


Figure 5.6 – Nombre de jours de dépassement de la valeur cible de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 heures de O_3 (NET60) pour toutes les stations de la RBC. Le maximum de jours autorisés par an, en moyenne sur trois ans, par la directive 2008/50/CE est indiqué par le trait pointillé rouge. Le trait vert indique le maximum de la moyenne glissante sur trois ans du NET60.

5.4.3 Evolution des centiles

La Figure 5.7 présente la différence entre les centiles (10%, 50%, 90%, 95%, 99% et 99.9%) calculés pour chaque station de la RBC pour la période 2012-2021 et la période 2000-2009 [IRCEL-CELINE, 2021]. Des valeurs positives indiquent donc une tendance à la hausse des concentrations et des valeurs négatives une tendance à la baisse. On peut ainsi voir à la lumière de ce graphique, que les concentrations d'ozone les plus basses (« fond d'ozone ») présentent une tendance à la hausse au cours du temps en RBC alors que les concentrations les plus élevées (pics d'ozone) présentent une nette tendance à la baisse. Ces tendances opposées sont observables également à l'échelle du pays [IRCEL-CELINE, 2021] et de l'Europe [EEA, 2018]. Celles-ci sont attribuables à une combinaison complexe :

- de la diminution locale (européenne) des émissions de précurseurs d'ozone et des fluctuations des conditions météorologiques (toutes deux bénéfiques par rapport à la diminution des pics d'ozone),
- du transport hémisphérique de polluants précurseurs (contribuant à l'augmentation des concentrations de fond d'ozone).

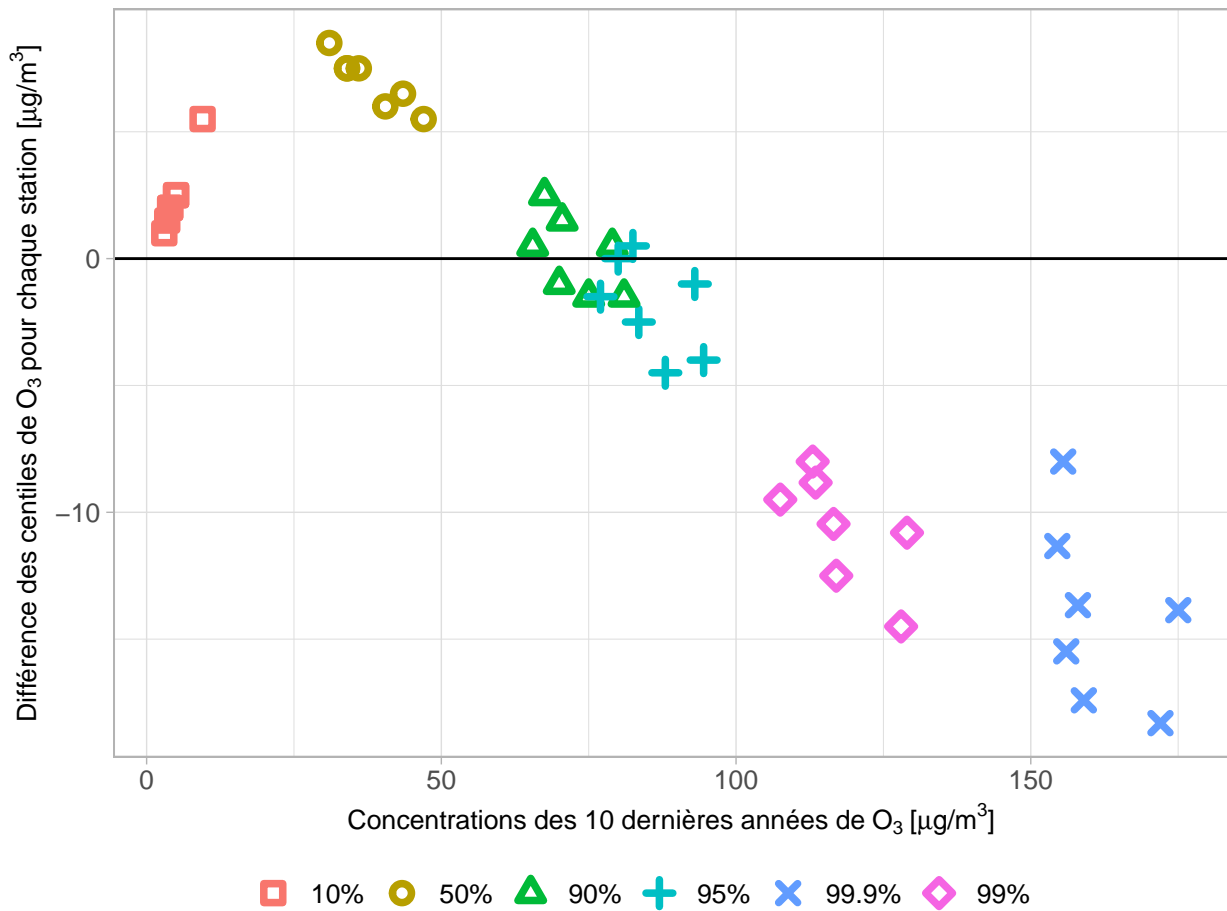


Figure 5.7 – Différence des centiles des concentrations horaires de O₃ pour les stations de la RBC sur les 10 dernières années (2012-2021), par rapport à la période 2000-2009.

CHAPITRE 6 : BLACK CARBON

6.1 NATURE DU POLLUANT

Si les métriques des particules fines sont bien adaptées à l'évaluation globale de la pollution particulaire, elles regroupent néanmoins une grande quantité de composés d'origine et de nature très diverses (voir chapitre 4). Il est alors nécessaire, afin d'obtenir une description plus précise, de procéder à la caractérisation (*spéciation*) des particules afin d'étudier le comportement des composés pris séparément. Pour ne citer qu'un exemple, l'étude spécifique des nitrate, sulfate et ammonium particulaires, majoritairement compris dans la fraction PM_{2.5}, interviennent dans la formation de particules secondaires et participent également à l'acidification et à l'eutrophisation des sols.

Le *black carbon* (BC) ou « carbone suie » constitue une sous-classification des particules fines. Le black carbon regroupe, comme son nom l'indique, toutes les particules constituées de carbone, et « noires », c'est-à-dire absorbant la lumière. Il est important d'attirer l'attention sur le fait que la méthode de mesure (par absorption de lumière) intervient dans la définition du composé, ce qui n'est généralement pas le cas pour les autres polluants (NO₂, O₃, SO₂, etc.). Le carbone élémentaire (EC), quant à lui, regroupe les particules formées de carbone mais s'obtient par mesure thermique – qui capture non pas la propension à absorber la lumière mais sa réfractivité. Théoriquement, BC et EC devraient décrire la même famille de composés; en pratique, la différence dans la méthode de mesure ne les rend pas exactement comparables.

Le black carbon se retrouve typiquement dans une gamme de diamètres allant de 10 à 500 nm (sous forme agrégée avec d'autres polluants). Le black carbon est ainsi intégralement compris dans la fraction PM_{2.5} (de diamètre aérodynamique inférieur à 2.5 µm), et en partie dans la fraction des particules ultrafines (UFP), définies comme les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 100 nm.

Le grand avantage du black carbon est qu'il s'agit d'un polluant particulaire fortement lié aux processus de combustion (on l'identifie souvent à la « suie »). En environnement urbain, le black carbon est ainsi un excellent indicateur du trafic routier (combustion dans les moteurs des véhicules, en particulier les moteurs diesel), ainsi que du chauffage (selon la période de l'année). Il peut également se retrouver théoriquement dans les processus de combustion industriels mais ce secteur est marginal en Région de Bruxelles-Capitale (RBC). Le lien entre émissions de black carbon et trafic routier peut se voir clairement lorsqu'on le compare aux concentrations d'oxydes d'azote ou NO_x (chapitre 3), soit le mélange :

- de monoxyde d'azote, que l'on retrouve surtout à proximité immédiate du trafic,
- de dioxyde d'azote, émis également directement par les véhicules routiers et que l'on retrouve à proximité du trafic mais aussi à distance de celui-ci, et qui caractérise l'environnement urbain en général.

Une comparaison des concentrations de black carbon aux concentrations d'oxydes d'azote à proximité du trafic fait ainsi apparaître une excellente corrélation linéaire entre les deux – ce qui confirme la qualité du black carbon comme indicateur du trafic. En outre, contrairement aux NO_x qui interviennent dans la photochimie de l'ozone, le black carbon peut être considéré comme un **traceur passif**, c'est-à-dire que ses concentrations ne sont globalement pas affectées par la chimie atmosphérique, mais uniquement par l'intensité et la proximité de ses sources d'émission d'une part et par la qualité de la dispersion météorologique d'autre part.

D'un point de vue impacts sur la santé, l'état de la question pour le black carbon a été résumé comme suit par l'OMS [WHO Regional Office for Europe, 2012] : « [...] *there are not enough clinical or toxicological studies to (a) allow an evaluation of the qualitative differences between the health effects of exposure to black carbon or those of exposure to PM mass or (b) identify any distinctive mechanism of black carbon effects. [BC] may operate as a universal carrier of a wide variety of combustion-derived chemical constituents of varying toxicity to sensitive targets in the human body, such as the lungs, the body's major defense cells and, possibly, the systemic blood circulation.* »

Autrement dit, l'impact santé potentiel lié au black carbon est grand mais pas encore clairement établi, notamment en raison de l'absence d'études épidémiologiques à long terme. En outre, le black carbon semblerait agir comme un « porteur » d'autres polluants sans être nécessairement toxique en lui-même.



Il faut préciser que le black carbon n'est pas régulé par les directives européennes et que l'OMS ne fournit pas de valeur recommandée pour ce polluant. Sa mesure est pourtant répandue en Europe et est réalisée par intérêt scientifique et épidémiologique.

6.2 MESURES ACTUELLES

6.2.1 Moyenne annuelle

Les concentrations annuelles de BC sont présentées sur la Figure 6.1. La diminution de l'activité en 2020 et pendant une partie de 2021 a eu un effet prononcé sur le black carbon (comme pour le NO₂, voir chapitre 3), car il s'agit d'un polluant fortement lié au trafic routier (voir section 6.1). En outre, le BC est principalement émis par les motorisations diesel et celles-ci représentent, depuis quelques années, une part de moins en moins importante du parc automobile bruxellois.

La station de Haren (41N043) enregistre en 2021 la concentration annuelle la plus élevée, ce qui est logique : il s'agit d'un environnement industriel avec présence de nombreux camions (motorisations diesel) qui sont des émetteurs importants de BC. Le second maximum est enregistré à la station de Molenbeek-Saint-Jean (41R001) et est quasiment identique à la concentration annuelle enregistrée à la station d'Ixelles (41R002), très fortement influencée par le trafic routier. La concentration moyenne annuelle de 0.5 µg/m³ mesurée à la station d'Uccle (41R012), site urbain très faiblement influencé par le trafic routier, est de loin la plus basse du réseau de mesure. Remarquons cependant que ces deux dernières stations, avec des rendements de 53% et 80%, respectivement, n'ont pas atteint la saisie minimale de données de 85%.

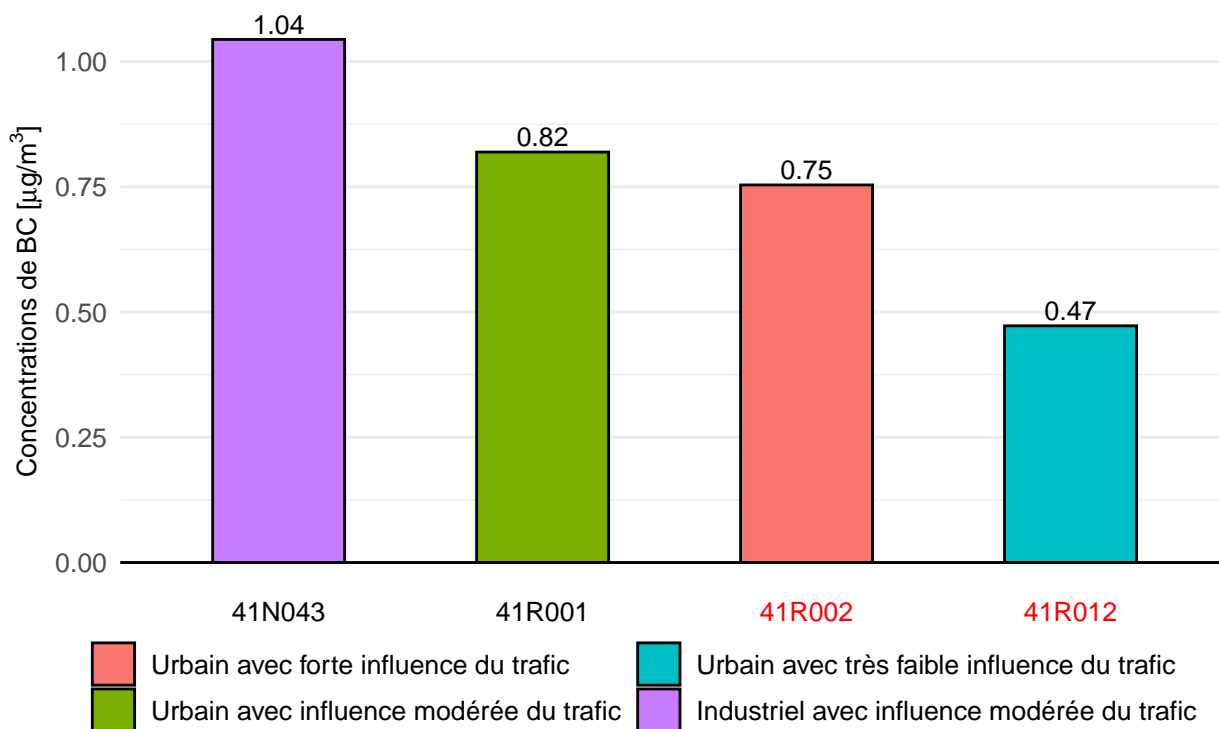


Figure 6.1 – Concentrations moyennes annuelles de BC pour chaque station de la RBC en 2021 [µg/m³]. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

6.3 MESURES HISTORIQUES

6.3.1 Moyenne annuelle

Les Figures 6.2 et 6.3 montrent l'évolution des concentrations annuelles de BC pour toutes les stations du réseau, depuis 2012. La Figure 6.2 présente clairement la décroissance au cours des années des moyennes des concentrations annuelles de black carbon (points bleus). Les autres indicateurs statistiques suivent globalement la même tendance à l'exception des maxima qui fluctuent très fortement d'une année à l'autre. En 2020, les mesures de confinement mises en place dans le cadre de la pandémie de COVID-19 ont contribué à la diminution des concentrations de BC de manière prononcée. En 2021, cette diminution de l'activité joue encore un rôle pendant une partie de l'année, et se combine à la décroissance progressive des motorisations diesel dans le parc automobile bruxellois.



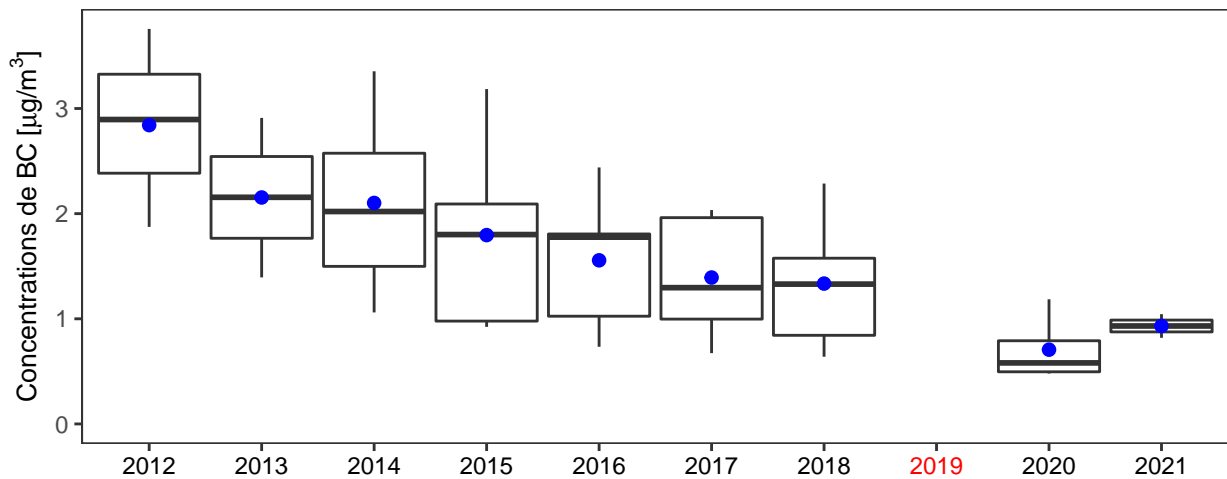


Figure 6.2 – Concentrations moyennes annuelles de BC de toutes les stations pour la RBC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Les années indiquées en rouge correspondent à des années pour lesquelles moins de 50% des stations ont atteint les 85% de saisie de données minimales requises (voir section 6.2).

Sur la Figure 6.3, on observe l'ouverture progressive des stations de mesure du BC depuis 2012. Le réseau de mesure du black carbon (5 stations) était entièrement installé en 2013. On observe également la décroissance des concentrations de BC entre 2012 et 2021 (2019 est présentée à titre indicatif car moins de 85% des données étaient disponibles durant cette année). Cette décroissance est visible pour toutes les stations et est plus ou moins prononcée selon le type d'environnement. Les concentrations fluctuent en outre d'une année à l'autre en fonction de la qualité de la dispersion météorologique.

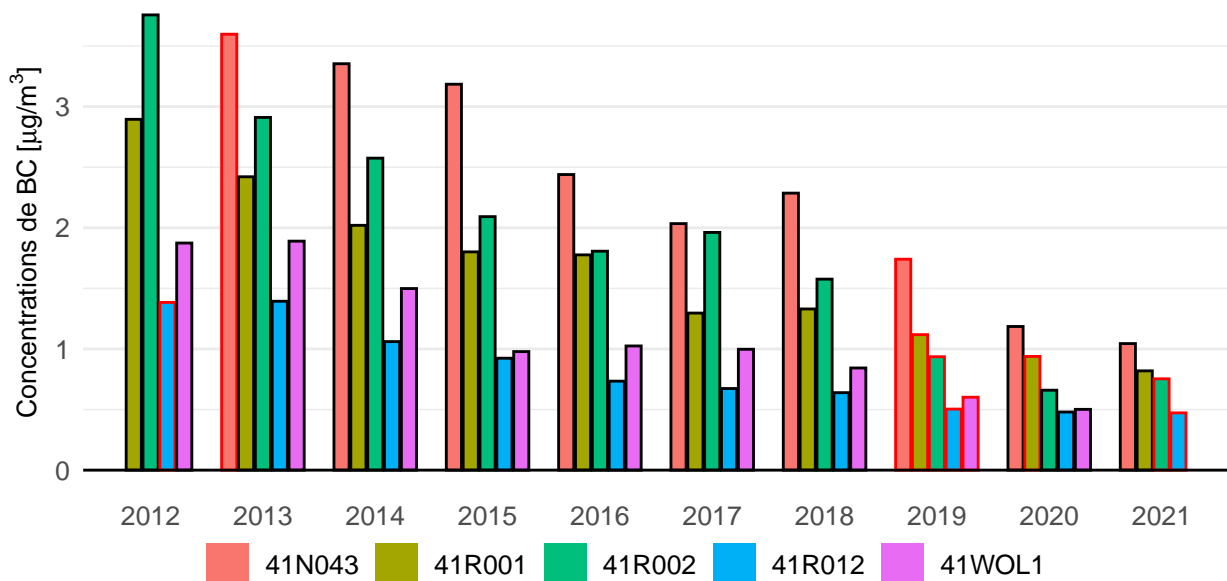


Figure 6.3 – Concentrations moyennes annuelles de BC de toutes les stations pour la RBC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

CHAPITRE 7 : DIOXYDE DE SOUFRE

7.1 NATURE DU POLLUANT

Le dioxyde de soufre (SO_2) est un polluant gazeux produit lors de la combustion de matières fossiles contenant du soufre (charbon, fuel, pétrole brut). L'activité volcanique est une source naturelle (pouvant être très intense) de SO_2 .

Les principales sources de SO_2 , dans l'absolu, sont l'industrie et les raffineries. Ces sources n'existant pas ou très peu en Région de Bruxelles-Capitale (RBC), la principale source de SO_2 à Bruxelles est majoritairement le chauffage des bâtiments (95% du total des émissions en RBC en 2018 [Bruxelles Environnement, 2020a]). Le trafic automobile (1% du total des émissions) ne contribue quant à lui quasiment plus aux émissions de SO_2 .

Actuellement, les concentrations de SO_2 mesurées dans l'air ambiant à Bruxelles (et en général partout en Europe) sont largement en-dessous des valeurs limites européennes. Les réductions drastiques de concentrations de SO_2 observées durant les années 70 et jusque dans le début des années 80 sont dues à plusieurs facteurs [Bruxelles Environnement, 2012] :

- plusieurs limitations légales successives régulant la teneur maximale autorisée de soufre dans les combustibles de chauffage et de production d'énergie,
- le fait que le gaz naturel ait supplanté les combustibles solides et liquides pour le chauffage domestique,
- l'ouverture de centrales nucléaires.

Depuis cette période, les concentrations de SO_2 décroissent d'année en année et se sont stabilisées à des valeurs très basses ces dernières années.

Le SO_2 est toxique même à faibles concentrations et peut entraîner l'irritation des yeux et des voies respiratoires. Une exposition à des concentrations élevées pendant une courte période entraîne une réduction de la fonction pulmonaire, en particulier chez les personnes souffrant de problèmes respiratoires [WHO, 2020], [EEA, 2019]. Le SO_2 est en outre un polluant acidifiant pour les écosystèmes naturels, pouvant se déposer par déposition sèche directement ou après transformation en sulfate (SO_4^{2-}). Il peut également contribuer à la formation d'acide sulfurique H_2SO_4 et se déposer par déposition humide (par le biais des précipitations).

En outre, après transformation en sulfate, le SO_2 peut contribuer à la formation de particules secondaires minérales (voir également section 3.1) en formant par exemple du sulfate d'ammonium.

7.2 RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE ET VALEURS RECOMMANDÉES PAR L'OMS

La directive prévoit deux valeurs limite pour le dioxyde de soufre depuis le 1/1/2005 :

- une valeur limite horaire de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à ne pas dépasser plus de 24 fois par an,
- une valeur limite journalière de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à ne pas dépasser plus de 3 fois par an.

Les valeurs recommandées en 2021 par l'OMS pour le dioxyde de soufre sont les suivantes :

- une valeur journalière recommandée de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à ne pas dépasser plus de 3-4 fois par an (selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99),
- une valeur recommandée sur 10 minutes de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Remarquons que la valeur journalière recommandée de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (jusqu'alors fixée à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est la seule valeur devenue moins stricte lors de la révision par l'OMS des valeurs de 2005.



7.3 MESURES HISTORIQUES

Nous analysons dans cette section l'évolution des moyennes annuelles ainsi que des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l'OMS durant ces dix dernières années. De manière générale, les normes européennes comme les valeurs recommandées par l'OMS pour le SO₂ sont largement respectées.

7.3.1 Moyenne annuelle

Comme on peut le voir sur la Figure 7.1, les concentrations annuelles continuent de suivre leur tendance à la décroissance (observée depuis l'existence du réseau de mesure) ces dix dernières années. Les concentrations annuelles en RBC en 2012 étaient déjà très faibles (autour de 4 µg/m³) et se situent depuis 2017 autour de 2 µg/m³, malgré un rebond léger en 2018.

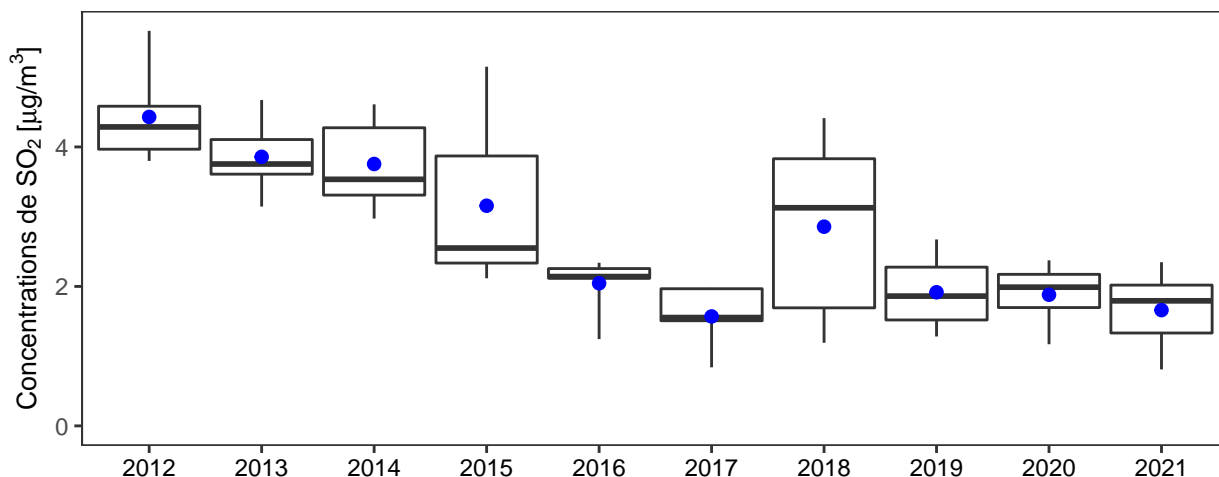


Figure 7.1 – Concentrations moyennes annuelles de SO₂ de toutes les stations pour la RBC [µg/m³].

7.3.2 Moyenne horaire

Les boîtes à moustaches des 25^{ème} maxima sont tracées sur la Figure 7.2. En effet, comme la valeur limite européenne horaire autorise 24 dépassements du seuil horaire de 350 µg/m³ par an, comparer le 25^{ème} maximum à ce seuil permet de vérifier instantanément si l'on dépasse ou non la norme européenne. On peut immédiatement constater que le 25^{ème} maximum se situe fort loin de la valeur limite de 350 µg/m³ et, qu'en outre, cet indicateur présente une tendance à la baisse ces dix dernières années. L'année 2014 se démarque clairement des autres (tout en respectant la norme horaire européenne) en raison de l'éruption du volcan islandais Bardarbunga, qui a provoqué l'augmentation des concentrations de SO₂ de manière exceptionnellement forte les 22 et 23 septembre en RBC (voir Figure 7.3) mais également dans le nord de la France [Airparif, 2014].

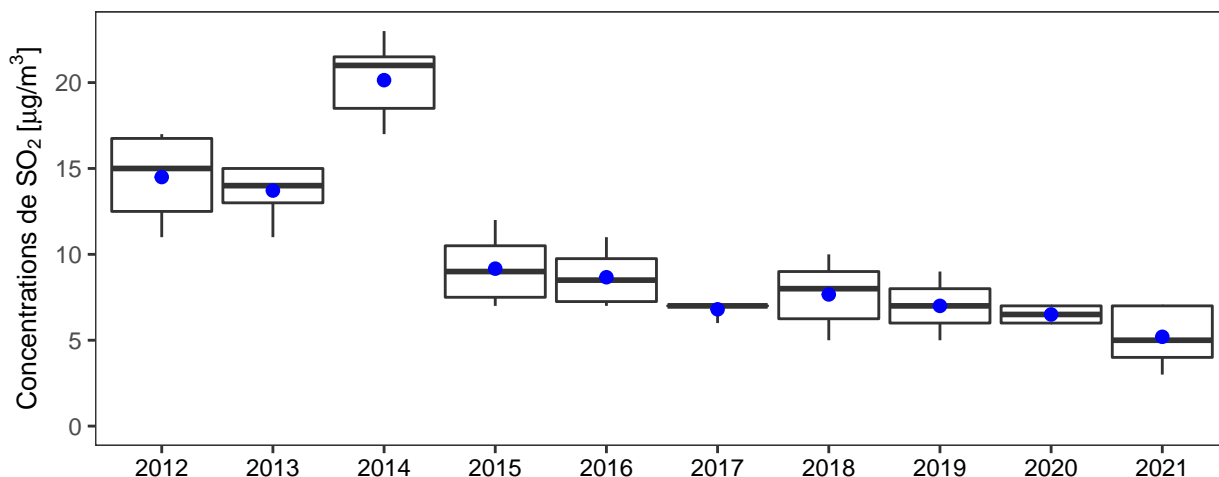


Figure 7.2 – 25^{ème} concentration horaire maximale de SO₂ par an pour toutes les stations de la RBC [µg/m³].



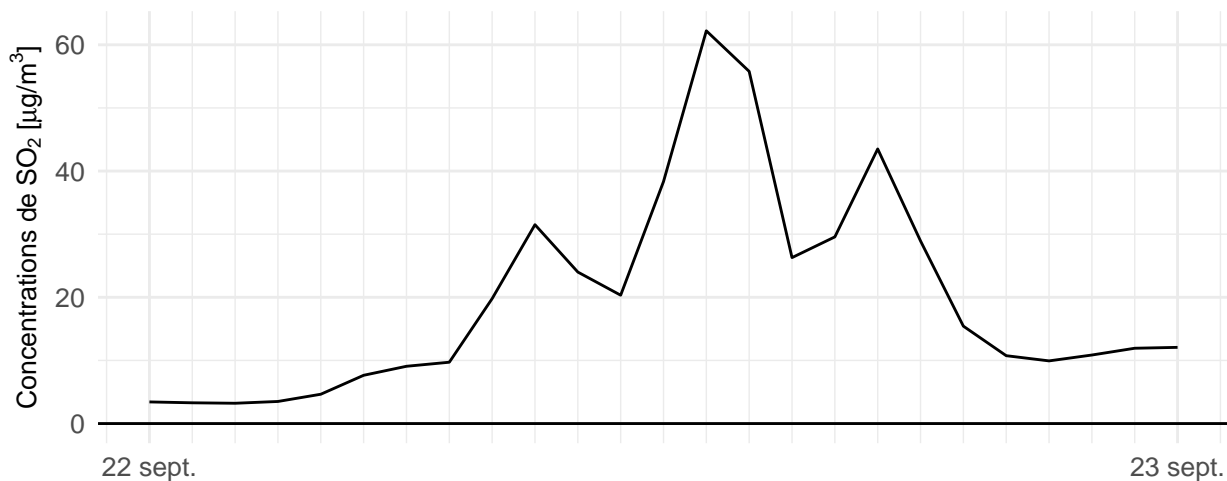


Figure 7.3 – Concentrations horaires de SO₂, en moyenne sur toutes les stations de la RBC [µg/m³], du 22 au 23 septembre 2014. L'augmentation exceptionnellement intense des concentrations est due à l'éruption du volcan islandais Bardarbunga.

7.3.3 Concentrations journalières

Les concentrations journalières les plus élevées par année et par station sont présentées sur la Figure 7.4. On peut d'une part constater que la valeur limite journalière européenne de 125 µg/m³ est largement respectée ces dix dernières années pour toutes les stations de mesure, ainsi que la valeur journalière recommandée par l'OMS de 40 µg/m³ (valeur revue en 2021). Ces dix dernières années, les dépassements de l'ancienne valeur journalière recommandée par l'OMS (20 µg/m³) ont été enregistrés :

- en 2014, en raison de l'éruption volcanique du Bardarbunga (voir point 7.3.2) et
- en 2020, en raison de l'importation, par vent de nord, de SO₂ émis massivement par une source semblant se situer en direction du Port d'Anvers, le 5 novembre 2020 (voir Figure 7.5).

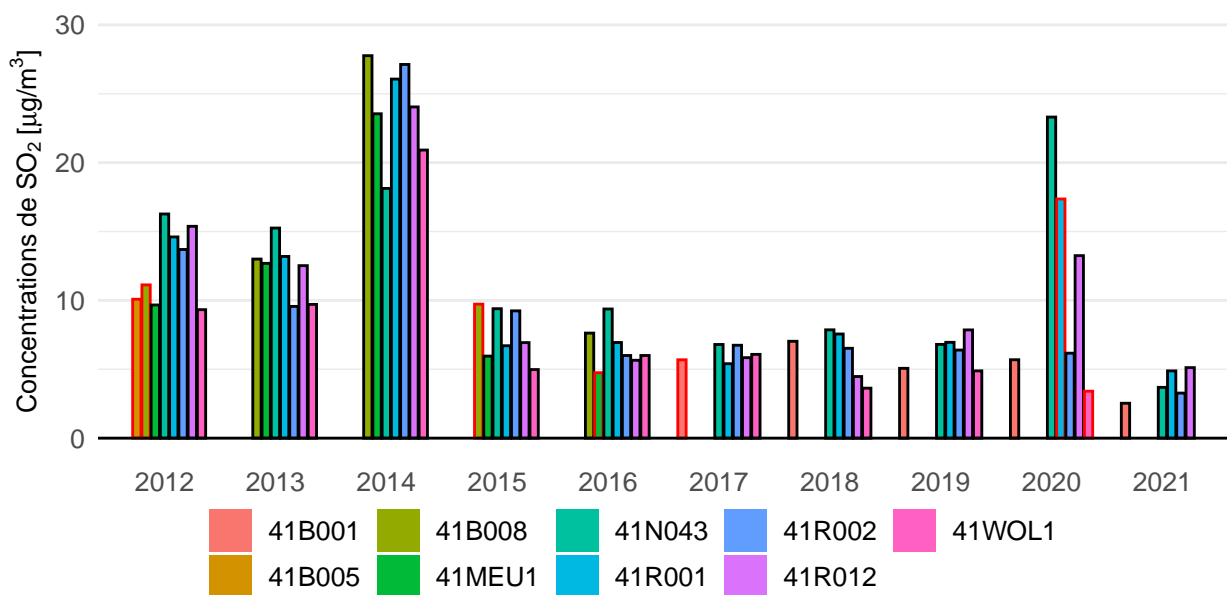


Figure 7.4 – Concentrations annuelles maximales des moyennes journalières de SO₂ de toutes les stations pour la RBC [µg/m³]. La valeur annuelle recommandée par l'OMS de 40 µg/m³ n'est pas indiquée par souci de clarté. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

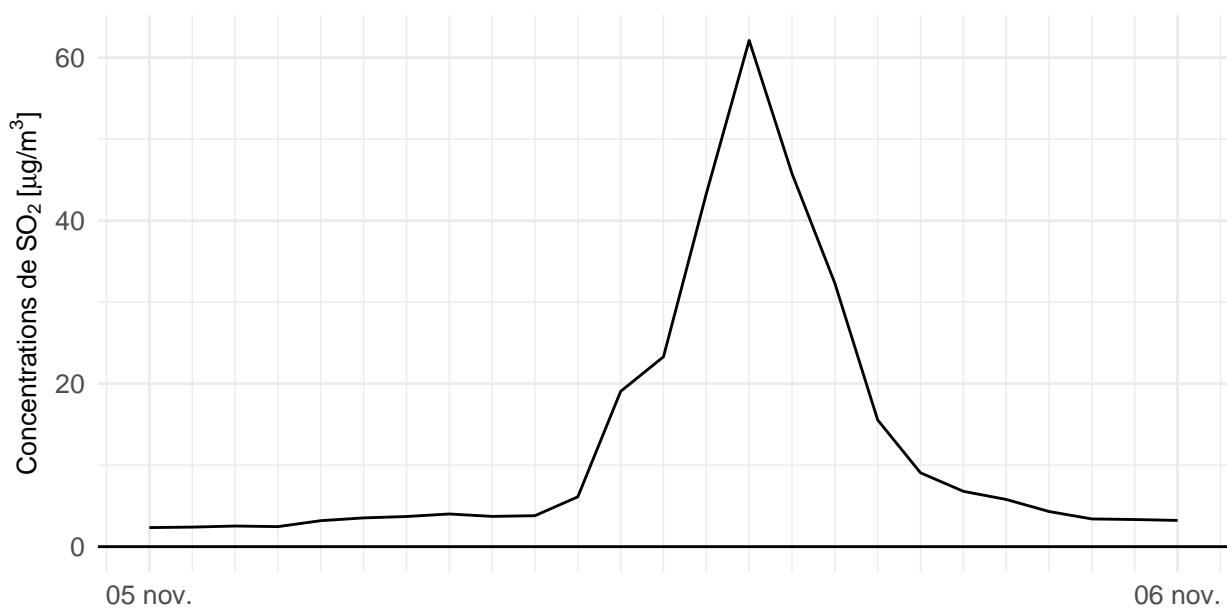


Figure 7.5 – Concentrations horaires de SO₂, en moyenne sur toutes les stations de la RBC [µg/m³], du 5 au 6 novembre 2020. L'augmentation exceptionnellement intense des concentrations est due à une source de SO₂ qui semble se situer en direction du port d'Anvers, par vent de nord.



CHAPITRE 8 : MONOXYDE DE CARBONE

8.1 NATURE DU POLLUANT

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz inodore et incolore produit par la combustion incomplète du carbone. Quand la combustion est complète, c'est du dioxyde de carbone (CO₂) qui est formé, un gaz à effet de serre - mais non toxique.

À Bruxelles, le CO provient en majeure partie du trafic routier (37% des émissions totales en Région de Bruxelles-Capitale (RBC) en 2019 [Bruxelles Environnement, 2020a]). Les autres sources de CO sont le chauffage résidentiel (31% des émissions) et les véhicules non routiers (16% des émissions).

La toxicité du CO provient du fait qu'il se fixe sur l'hémoglobine du sang (formant de la carboxyhémoglobine), diminuant le transport d'oxygène dans le sang. L'exposition à des concentrations trop élevées de CO est la cause d'accidents domestiques pouvant être mortels, notamment dus à l'emploi de chauffe-eau dans des salles de bain mal ventilées. Des effets sur la santé (diminution de la capacité physique et intellectuelle, perte de l'acuité visuelle, perte de la motricité) sont également observés à des concentrations plus faibles [Bruxelles Environnement, 2012].

8.2 RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE

La directive 2008/50/CE prévoit une valeur limite sur le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures de CO qui ne doit pas dépasser 10 mg/m³ (*milligrammes* par mètres cube), identique à la valeur recommandée par l'OMS. L'OMS prévoit également une valeur horaire recommandée de 35 mg/m³ et une valeur recommandée sur 15 minutes de 100 mg/m³, toutes deux largement respectées.

Depuis 2021, l'OMS prévoit également une valeur journalière recommandée de 4 mg/m³ (*milligrammes* par mètres cube) pour le CO, avec 3 à 4 dépassements, selon la saisie annuelle de données, correspondant au centile 99.

8.3 MESURES ACTUELLES

Comme la norme européenne pour le CO est largement respectée, nous analysons celle-ci durant les dix dernières années dans la section 8.3.1 et nous présentons dans ce chapitre uniquement les concentrations moyennes annuelles pour 2021.

8.3.1 Moyenne annuelle

Les concentrations annuelles de CO (en mg/m³) pour chaque station de la RBC sont présentées sur la Figure 8.1. On peut constater que la majorité des stations de mesure présentent des concentrations extrêmement proches, de l'ordre de 0.3 mg/m³.

8.4 MESURES HISTORIQUES

8.4.1 Moyenne annuelle

La Figure 8.2 présente l'évolution des concentrations moyennes annuelles de CO au cours des dix dernières années. Les concentrations de CO sont extrêmement faibles (bien inférieures à 1 mg/m³) et les moyennes des concentrations annuelles ne varient que très peu d'une année à l'autre. On constate cependant une augmentation générale des indicateurs statistiques présentés ici par rapport à l'année 2020, due très probablement à la reprise de l'activité et en particulier du trafic routier durant l'année 2021. Un autre facteur qui pourrait jouer dans cette élévation, certes légère, des concentrations, est la part de plus en plus importante de véhicules à essence dans le parc automobile bruxellois.



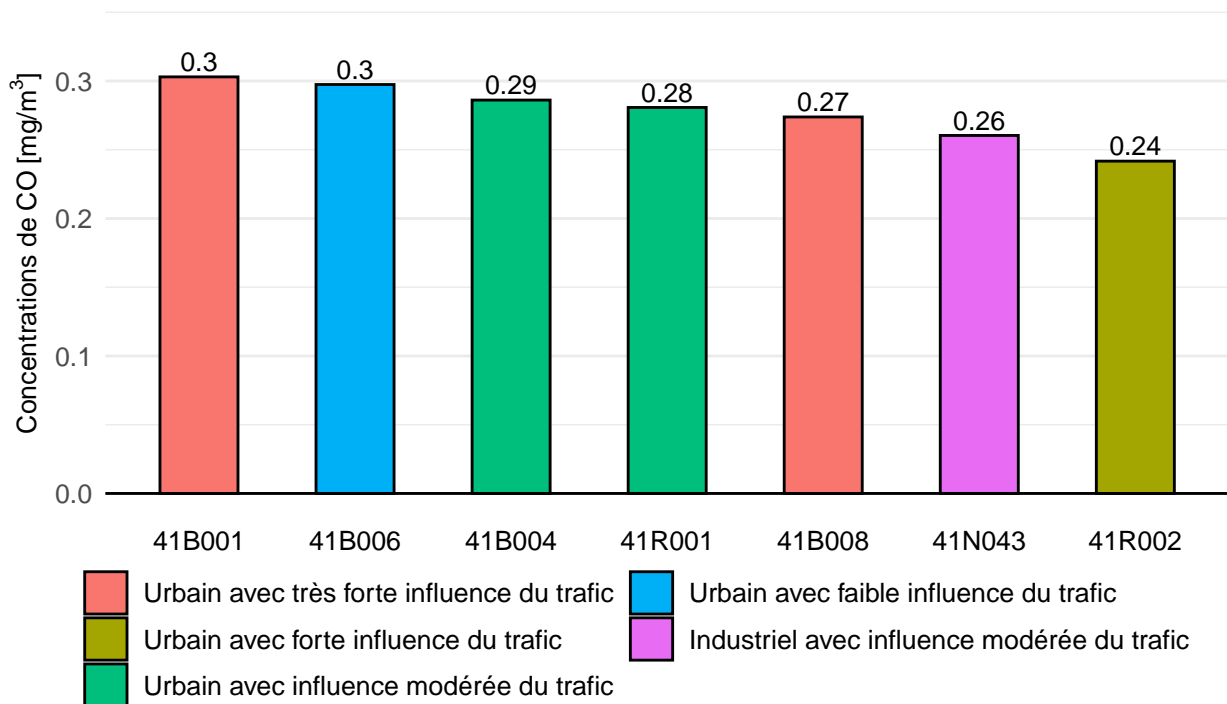


Figure 8.1 – Concentrations moyennes annuelles de CO pour chaque station de la RBC en 2021 [mg/m³]. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

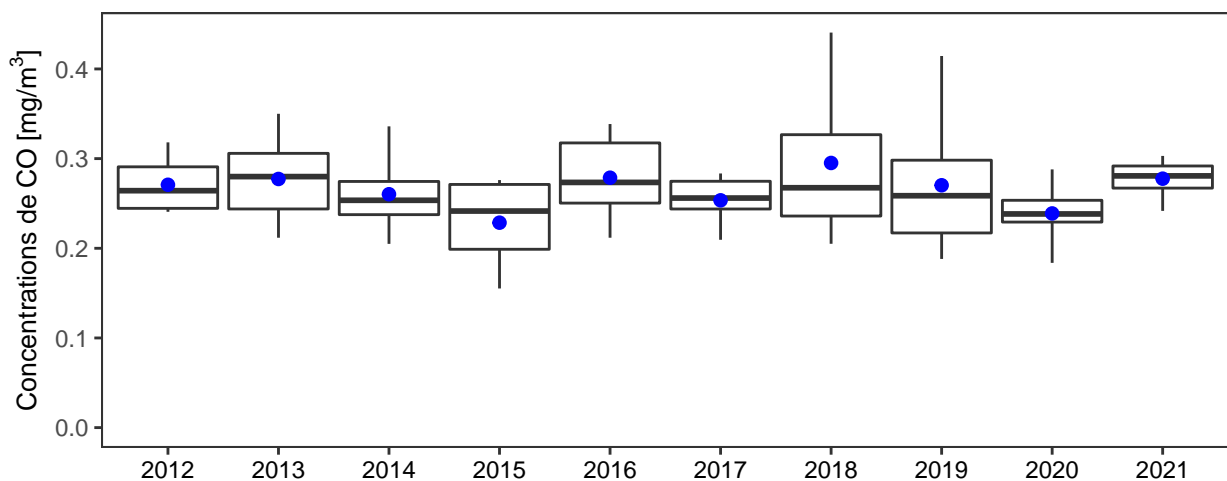


Figure 8.2 – Concentrations moyennes annuelles de CO de toutes les stations pour la RBC [mg/m³]. Les années indiquées en rouge correspondent à des années pour lesquelles moins de 50% des stations ont atteint les 85% de saisie de données minimales requises.

8.4.2 Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures

La Figure 8.3 présente la valeur maximale, par année et pour toutes les stations, du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures. Selon la directive, cet indicateur ne doit pas dépasser 10 mg/m³ : on peut donc voir directement que la valeur limite européenne est bien respectée ces dix dernières années à toutes les stations, avec des valeurs maximales de concentrations typiquement de l'ordre de 2 ou 3 mg/m³. On peut également constater qu'en 2018 et 2019, les maxima journaliers des moyennes glissantes sur 8 heures ont été nettement à la hausse à la station de Haren (41N043). Ceci s'explique possiblement par l'amplification du trafic de camions à proximité de la station (située dans un environnement industriel), étant donné la réorganisation de leurs itinéraires dans les environs. En effet, de manière générale, les motorisations diesel des camions émettent davantage de CO que leurs équivalents légers. La disparition de cet effet en 2020 s'explique très probablement par la réduction de l'activité et du trafic routier liée aux mesures mises en place dans le cadre de la pandémie de COVID-19. En 2021, on observe à nouveau une hausse des concentrations maximales rapport à 2020 mais aussi, de manière globale, par rapport aux années précédentes. Ceci est très probablement lié à la reprise du trafic routier durant l'année 2021 mais aussi possiblement à la part de plus en plus importante de véhicules à



essence dans le parc automobile bruxellois.

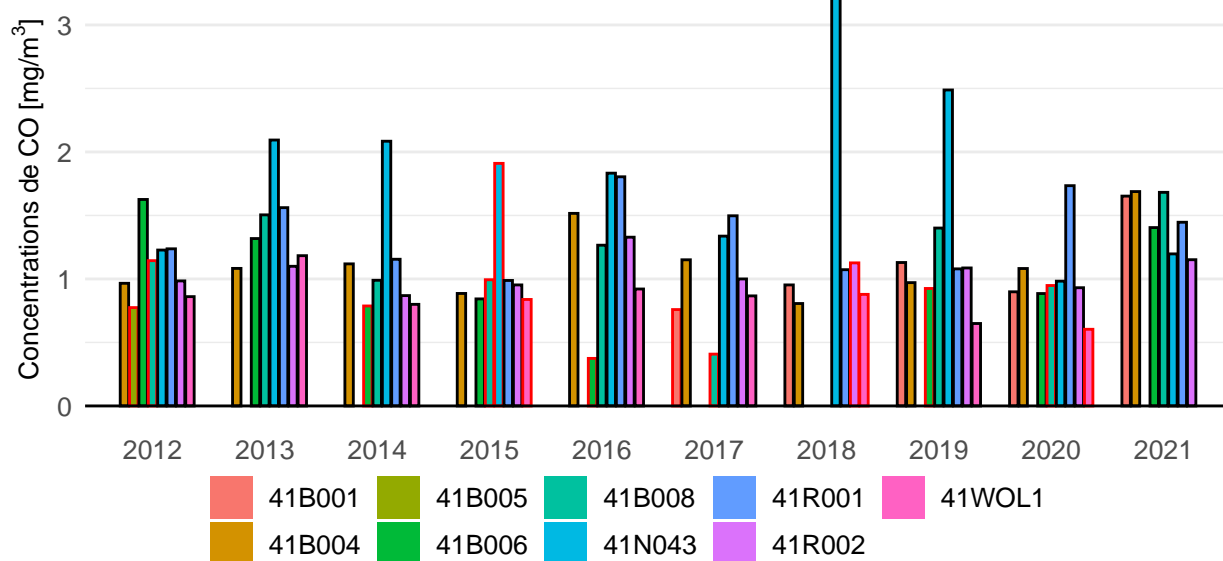


Figure 8.3 – Valeurs annuelles maximales des maxima journaliers des moyennes glissantes sur 8 heures de CO dans toutes les stations pour la RBC [mg/m³]. Le contour des bâtonnets des stations est en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

CHAPITRE 9 : CONCLUSIONS

De manière globale, nous avons observé que la qualité de l'air, en ce qui concerne les polluants primaires (émis directement dans l'atmosphère), était en amélioration continue au cours du temps en RBC (mais également en Belgique et dans le nord-ouest de l'Europe), en raison des mesures de réduction des émissions et de l'amélioration des technologies. Ces dernières années, l'évolution des émissions du trafic en RBC, en particulier liée à l'accélération de la transition du diesel vers l'essence, a très probablement joué un rôle significatif.

Durant l'année 2021, nous avons observé un retour à la normale de l'évolution des concentrations suite à l'année exceptionnelle de 2020. En effet, les concentrations de dioxyde d'azote (polluant fortement lié au trafic routier) avaient baissé de manière drastique entre 2019 et 2020 (et les concentrations d'ozone, augmenté plus que les années antérieures) en raison notamment des mesures mises en place dans le cadre de la pandémie de COVID-19 qui avaient fortement réduit l'activité. Entre 2020 et 2021, les concentrations de dioxyde d'azote ont augmenté légèrement mais tout en conservant leur tendance décroissante à long terme par rapport aux années 2019 et antérieures. Les concentrations de $PM_{2,5}$ ont également augmenté entre 2020 et 2021, mais les concentrations de PM_{10} ont stagné. Les concentrations annuelles d'ozone, quant à elles, ont retrouvé leur lente croissance, comparable à celle observée avant 2020.

Par rapport au NO_2 (chapitre 3), alors qu'il y a dix ans, la valeur limite annuelle européenne de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ était dépassée en plusieurs points de mesure en RBC, celle-ci est respectée pour toutes les stations de mesure du réseau téléométrique en 2021. La valeur limite horaire européenne de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (avec 18 dépassements autorisés) a quant à elle toujours été respectée en RBC ces dix dernières années. En outre, la valeur recommandée par l'OMS ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec aucun dépassement autorisé) est respectée également en 2021. Les nouvelles valeurs annuelle ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et journalière recommandées ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec 3 à 4 dépassements) par l'OMS (2021) sont largement dépassées à tous les sites de mesure en RBC.

Pour les PM_{10} (chapitre 4), le respect de la valeur limite européenne journalière ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec 35 dépassements autorisés) posait encore problème jusqu'en 2013 mais celle-ci est respectée en RBC depuis 2014 (et partout en Belgique depuis 2015). La nouvelle valeur journalière recommandée par l'OMS ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec 3 à 4 dépassements) est dépassée en deux stations de mesure en RBC. La valeur limite annuelle ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les PM_{10} n'a jamais été dépassée ces dix dernières années. La nouvelle valeur annuelle recommandée par l'OMS de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est respectée qu'aux stations de fond urbain en 2021.

En ce qui concerne les $PM_{2,5}$, la valeur limite annuelle de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est bien respectée partout depuis plus de 10 ans et en particulier depuis son entrée en vigueur en 2015. En 2021, la nouvelle valeur annuelle recommandée par l'OMS de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, extrêmement stricte, n'est respectée nulle part en RBC. La directive 2008/50/CE ne prévoit pas de valeur journalière pour les $PM_{2,5}$ mais l'OMS prévoit une valeur journalière recommandée de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (avec 3 à 4 dépassements), dépassée partout en RBC (et en Belgique).

Pour l'ozone (chapitre 5), la tendance observée globalement en Europe est une diminution des pics d'ozone mais une augmentation des concentrations de fond, en raison notamment de la diminution des émissions locales et du transport hémisphérique de polluants précurseurs. En RBC, la valeur cible de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile, en moyenne sur 3 ans, était respectée en 2021. La valeur journalière recommandée par l'OMS (aucun dépassement du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures du seuil de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) n'est respectée nulle part en RBC (ni en Belgique). Le nouvel indicateur de l'OMS pour la période de pics est également en dépassement dans tous les sites de mesure de la RBC.

En ce qui concerne le SO_2 (chapitre 7) et le CO (chapitre 8), les valeurs imposées par la directive sont largement respectées depuis 10 ans en RBC et ces polluants ne sont plus considérés comme problématiques. Les valeurs recommandées par l'OMS sont en outre respectées en 2021. Pour ces deux polluants, les concentrations sont très basses et stables ces dernières années.

Enfin, on enregistre des concentrations de BC en nette décroissance au cours des années (chapitre 6) mais ce polluant n'est pas régulé par l'Europe et l'OMS ne fournit pas de valeurs recommandées. Il est utilisé comme traceur caractéristique du trafic routier (surtout des moteurs diesel) et en moindre mesure du chauffage domestique.



La qualité de l'air actuelle en RBC et sa nette amélioration sur les dix dernières années témoignent ainsi de l'efficacité des mesures mises en place pour réduire les émissions ainsi que des progrès technologiques. Pour la deuxième année consécutive, toutes les valeurs limites et cibles européennes sont respectées en RBC. En outre, les précédentes valeurs recommandées par l'OMS de 2005 étaient aussi, pour la plupart, déjà respectées en RBC ou au moins en bonne voie de l'être. Cependant, le défi s'avère beaucoup plus grand en ce qui concerne les nouvelles valeurs recommandées par l'OMS en 2021. En effet, on peut constater que celles-ci sont (largement) dépassées pour le dioxyde d'azote, les particules fines (en particulier les PM_{2,5}) et l'ozone en 2021. Le respect des nouvelles valeurs recommandées par l'OMS nécessitera ainsi de poursuivre la réduction des émissions au niveau local, mais également de réduire celles-ci de manière drastique au niveau européen, voire hémisphérique.



ANNEXE A : MÉTHODOLOGIE DE CALCUL

A.1 SAISIE MINIMALE DE DONNÉES

Dans ce rapport, sauf si précisé autrement, nous avons présenté les données aux stations en suivant la logique de rapportage européen :

- il faut une saisie de données horaires de minimum 85% pour calculer une moyenne annuelle,
- il faut une saisie de données horaires de minimum 75% pour calculer une moyenne journalière.

Les moyennes présentées dans ce rapport suivent cette méthodologie. Par exemple, une moyenne annuelle de NO₂ ne sera pas présentée si la saisie de données horaire pour cette année est inférieure à 85%. Ce critère permet de garantir qu'une station de mesure possède suffisamment de données sur l'année pour pouvoir calculer les statistiques qui en dépendent.

En effet, de manière générale, les concentrations enregistrées au cours de l'année sont d'un ordre de grandeur fort différent durant la période froide et durant la période chaude : pendant l'hiver, les conditions météorologiques sont généralement défavorables à la dispersion des polluants, au contraire de l'été.

En outre, certains polluants connaîtront des pics de concentrations plus fréquents à certaines périodes de l'année, comme les particules fines, en raison de la formation généralement abondante de particules secondaires liées aux épandages agricoles en mars-avril. De plus, certains polluants spécifiques comme l'ozone seront formés majoritairement pendant la période la plus ensoleillée de l'année¹. Il n'est donc pas possible de calculer un indicateur annuel représentatif sur base d'une période restreinte sur l'année.

Au contraire, si un indicateur «de comptage» (par exemple, les 35 jours de dépassement autorisés par an du seuil de 50 µg/m³ pour les PM₁₀) ne respecte **pas** le rendement annuel de 85% **mais que l'indicateur dépasse déjà la norme**, il est considéré comme en dépassement (puisque toute donnée additionnelle ne pourra que le faire augmenter). A contrario, si un tel indicateur ne respecte **pas** le rendement annuel de 85% **et que l'indicateur ne dépasse pas la norme**, on ne peut pas conclure s'il y a dépassement ou non.

Une exception à cette méthodologie est le calcul de la moyenne sur 3 ans du NET60 pour l'ozone, dont le calcul est fait à partir d'une seule donnée valide disponible sur les trois.

Dans toutes les figures,

- un code station indiqué en rouge désigne une station n'ayant pas atteint la saisie minimale de données,
- un contour de bâtonnet en rouge désigne une station n'ayant pas atteint la saisie minimale de données,
- une année affichée en rouge désigne une boîte à moustaches calculée sur base de moins de 50% de stations ayant atteint la saisie minimale de données.

A.2 BOÎTES À MOUSTACHES

Nous utilisons dans ce rapport des «boîtes à moustaches» (*box plots*) pour résumer plusieurs statistiques sur les graphes. Une telle boîte à moustaches est illustrée sur la Figure A.1. De manière générale, leur lecture se fait de la façon suivante :

- le trait vertical supérieur indique le maximum du jeu de données considéré,
- le trait vertical inférieur indique le minimum du jeu de données considéré (ces deux traits verticaux sont les «moustaches»),
- le haut du rectangle central indique le centile 75 (P75) du jeu de données considéré,
- le bas du rectangle central indique le centile 25 (P25) du jeu de données considéré (le haut et le bas du rectangle forment la «boîte»),

¹ Notez que les critères européens sur la saisie minimale de données pour l'ozone sont en réalité plus compliqués que la seule vérification de la saisie de données minimale de 85% [UE, 2008], [UE, 2015], [European Commission, 2018].



- le trait horizontal au sein du rectangle indique la médiane du jeu de données considéré,
- le point indique la moyenne arithmétique du jeu de données considéré.

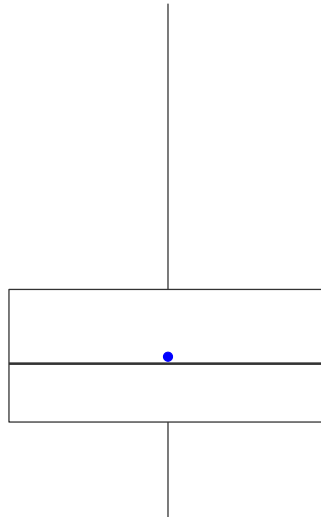


Figure A.1 – Diagramme d'une boîte à moustaches

DÉFINITIONS

CO monoxyde de carbone, gaz toxique produit par combustion incomplète.

NO_x oxydes d'azote, mélange de monoxyde et de dioxyde d'azote.

NO monoxyde d'azote, gaz faiblement toxique produit par combustion.

NO₂ dioxyde d'azote, gaz irritant produit par combustion, surtout par les motorisations diesel.

O₃ ozone, polluant secondaire formé sur base de polluants déjà présents dans l'air (précurseurs) lorsque l'ensoleillement est abondant.

PM *particulate matter*, particules en suspension ou particules fines, ensemble de composés solides et liquide en suspension dans l'atmosphère (aérosol).

PM_{2.5} particules fines de diamètre (aérodynamique) inférieur à 2.5 µm.

PM₁₀ particules fines de diamètre (aérodynamique) inférieur à 10 µm.

PM_{2.5-10} fraction grossière des particules fines (*coarse fraction*), dont le diamètre aérodynamique est compris entre 2.5 µm et 10 µm.

BC (black carbon) pour *black carbon*, « carbone suie », typiquement compris dans une gamme de diamètres allant de 10 à 500 nm (de 0.01 à 0.5 µm) principalement émises par le trafic (diesel) et le chauffage.

UFP pour *ultrafine particles*, particules ultrafines, de diamètre aérodynamique inférieur à 100 nm (100 nm = 0.1 µm = 0.0000001 m).

SO₂ dioxyde de soufre, gaz toxique.

COV composés organiques volatils, intervenant notamment dans la chimie de l'ozone.

NH₃ ammoniac, gaz émis notamment par l'épandage de fertilisants sur des territoires agricoles.

NH₄⁺ ion ammonium, intervenant dans la formation de particules secondaires minérales.

SO₄²⁻ ion sulfate, intervenant dans la formation de particules secondaires minérales.

NO₃⁻ ion nitrate, intervenant dans la formation de particules secondaires minérales.

boîte à moustaches manière concise de présenter des statistiques sur un graphe, voir Annexe A.2.



UNITÉS, ACRONYMES ET CODES DES STATIONS

UNITÉS

ppb(V) partie par milliard (en volume), 1 ppbV = 1 nmol/mol.

µg/m³ microgrammes (de composé) par mètre cube (d'air), 1 µg = 0.001 mg.

mg/m³ milligrammes (de composé) par mètre cube (d'air). Utilisé principalement dans ce rapport pour la mesure du monoxyde de carbone.

ACRONYMES

IPR *Implementing Provisions for Reporting*, ensemble de recommandations pour le rapportage des indicateurs de qualité de l'air à la Commission européenne.

IEM indicateur d'exposition moyenne (AEI, *average exposure indicator*).

RBC Région de Bruxelles-Capitale.

NET60 *Number of Exceedances above a Threshold of 60 ppb* (= 120 µg/m³). Nombre de jours par an de dépassement du maximum journalier de la concentrations moyenne glissante sur 8 heures d'ozone du seuil de 120 µg/m³.

OMS Organisation mondiale de la santé (WHO, *World health organisation*).

CODES DES STATIONS

41B001 Arts-Loi

41B004 Sainte-Catherine

41B005 Eastman

41B006 Parlement UE

41B008 Belliard

41B011 Berchem-Sainte-Agathe

41CHA1 Ganshoren

41MEU1 Neder-Over-Heembeek (Parc Meudon)

41N043 Haren (Avant-Port)

41R001 Molenbeek-Saint-Jean

41R002 Ixelles

41R012 Uccle

41REG1 Régent

41WOL1 Woluwe-Saint-Lambert



BIBLIOGRAPHIE

- Airparif. *Pollution d'origine volcanique depuis le 22 septembre*. 2014. URL <https://www.airparif.asso.fr/actualite/detail/id/119>.
- Bruxelles Environnement. *La qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale - mesures à l'immission 2009-2011*. 2012. URL https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/QAir_Rpt0911_corr_ssAnnexesB_C_D_E_fr.PDF.
- Bruxelles Environnement. *Données du Département Planification air, énergie et climat*. 2020a.
- Bruxelles Environnement. *Evaluation de l'impact des mesures prises dans le cadre de la pandémie de Covid-19 sur la qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale. Rapports du 24 avril 2020 au 26 juin 2020*. 2020b. URL <https://environnement.brussels/news/evaluation-de-limpact-des-mesures-prises-dans-le-cadre-de-la-pandemie-de-covid-19-sur-la>.
- Bruxelles Environnement. *La qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale. Rapport annuel 2020*. 2020c. URL https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/RAP_2020_AirQualityAnnualReport_fr.pdf.
- EEA. *Air quality in Europe - 2018 report*. 2018. URL <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>.
- EEA. *Les effets de la pollution sur la santé*. 2019. URL <https://www.eea.europa.eu/fr/signaux/signaux-2013/infographies/les-effets-de-la-pollution-2/view>.
- EEA. *Air quality in Europe - 2020 report*. 2020. URL <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>.
- European Commission. *IPR*. 2018. URL https://www.eionet.europa.eu/aqportal/doc/IPR%20guidance_2.0.1_final.pdf.
- IRCEL-CELINE. *Rapport annuel 2019 de la qualité de l'air en Belgique*. 2020. URL <https://www.irceline.be/fr/documentation/publications/annual-reports/rapport-annuel-2019/view>.
- IRCEL-CELINE. *Rapport annuel 2020 de la qualité de l'air en Belgique*. 2021. URL <https://www.irceline.be/fr/documentation/publications/annual-reports/rapport-annuel-2020/view>.
- B. Sportisse. *Pollution atmosphérique - Des processus à la modélisation*. Springer, 2007.
- UE. *Directive 2008/50/CE du Parlement et du Conseil concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe*. 2008. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=fr>.
- UE. *Décision d'exécution de la Commission du 12 décembre 2011 portant modalités d'application des directives 2004/107/CE et 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil concernant l'échange réciproque d'informations et la déclaration concernant l'évaluation de la qualité de l'air ambiant*. 2011. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32011D0850>.
- UE. *Directive (UE) 2015/1480 de la Commission du 28 août 2015 modifiant plusieurs annexes des directives du Parlement européen et du Conseil 2004/107/CE et 2008/50/CE*. 2015. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32015L1480>.
- WHO. *Air quality guidelines – global update 2005*. 2005. URL <https://www.who.int/airpollution/publications/aqg2005/en/>.
- WHO. *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project : Final technical report*. 2013. URL <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/revi-haap-project-final-technical-report>.
- WHO. *Air Pollution*. 2020. URL https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1.
- WHO. *Ambient (outdoor) air pollution*. 2021. URL [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).



WHO Regional Office for Europe. *Health Effects of Black Carbon*. 2012. URL https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf.

