

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

RAPPORT ANNUEL 2019

DÉCEMBRE 2020



# TABLE DES MATIÈRES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Résumé</b>   | <b>5</b>  |
| Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )                              | 5         |
| Particules fines PM <sub>10</sub>                               | 6         |
| Particules fines PM <sub>2,5</sub>                              | 7         |
| Ozone (O <sub>3</sub> )   | 7         |
| <b>1 Introduction</b>   | <b>11</b> |
| 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        |
| <b>2 Réseau de mesures télémétriques</b>                        | <b>15</b> |
| 2.1 Historique du réseau de mesures                             | 15        |
| 2.2 Stations et types d'environnement                           | 15        |
| 2.3 Polluants mesurés par station                               | 15        |
| 2.4 Descriptif des stations                                     | 17        |
| <b>3 Oxydes d'azote</b>   | <b>21</b> |
| 3.1 Nature du polluant  | 21        |
| 3.2 Réglementation européenne et valeurs recommandées par l'OMS | 22        |
| 3.3 Mesures actuelles   | 22        |
| 3.4 Mesures historiques   | 24        |
| <b>4 Particules en suspension</b>                               | <b>29</b> |
| 4.1 Nature du polluant  | 29        |
| 4.2 Réglementation européenne et valeurs recommandées par l'OMS | 30        |
| 4.3 Mesures actuelles de PM <sub>10</sub>                       | 30        |
| 4.4 Mesures historiques de PM <sub>10</sub>                     | 31        |
| 4.5 Mesures actuelles de PM <sub>2,5</sub>                      | 34        |
| 4.6 Mesures historiques de PM <sub>2,5</sub>                    | 37        |
| <b>5 Ozone</b>  | <b>41</b> |
| 5.1 Nature du polluant  | 41        |
| 5.2 Réglementation européenne et valeurs recommandées par l'OMS | 42        |
| 5.3 Mesures actuelles   | 42        |
| 5.4 Mesures historiques   | 45        |
| <b>6 Black carbon</b>   | <b>49</b> |
| 6.1 Nature du polluant  | 49        |
| 6.2 Mesures actuelles   | 50        |
| 6.3 Mesures historiques   | 50        |
| <b>7 Dioxyde de soufre</b>                                      | <b>53</b> |
| 7.1 Nature du polluant  | 53        |
| 7.2 Réglementation européenne et valeurs recommandées par l'OMS | 53        |
| 7.3 Mesures actuelles   | 53        |
| 7.4 Mesures historiques   | 54        |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>8</b> | <b>Monoxyde de carbone</b>                     | <b>57</b> |
| 8.1      | Nature du polluant . . . . .                   | 57        |
| 8.2      | Réglementation européenne . . . . .            | 57        |
| 8.3      | Mesures actuelles . . . . .                    | 57        |
| 8.4      | Mesures historiques . . . . .                  | 57        |
| <b>9</b> | <b>Conclusions</b>                             | <b>61</b> |
| <b>A</b> | <b>Méthodologie de calcul</b>                  | <b>63</b> |
| A.1      | Saisie minimale de données . . . . .           | 63        |
| A.2      | Boîtes à moustaches . . . . .                  | 63        |
|          | <b>Définitions</b>                             | <b>65</b> |
|          | <b>Unités, acronymes et codes des stations</b> | <b>67</b> |
|          | Unités . . . . .                               | 67        |
|          | Acronymes . . . . .                            | 67        |
|          | Codes des stations . . . . .                   | 67        |



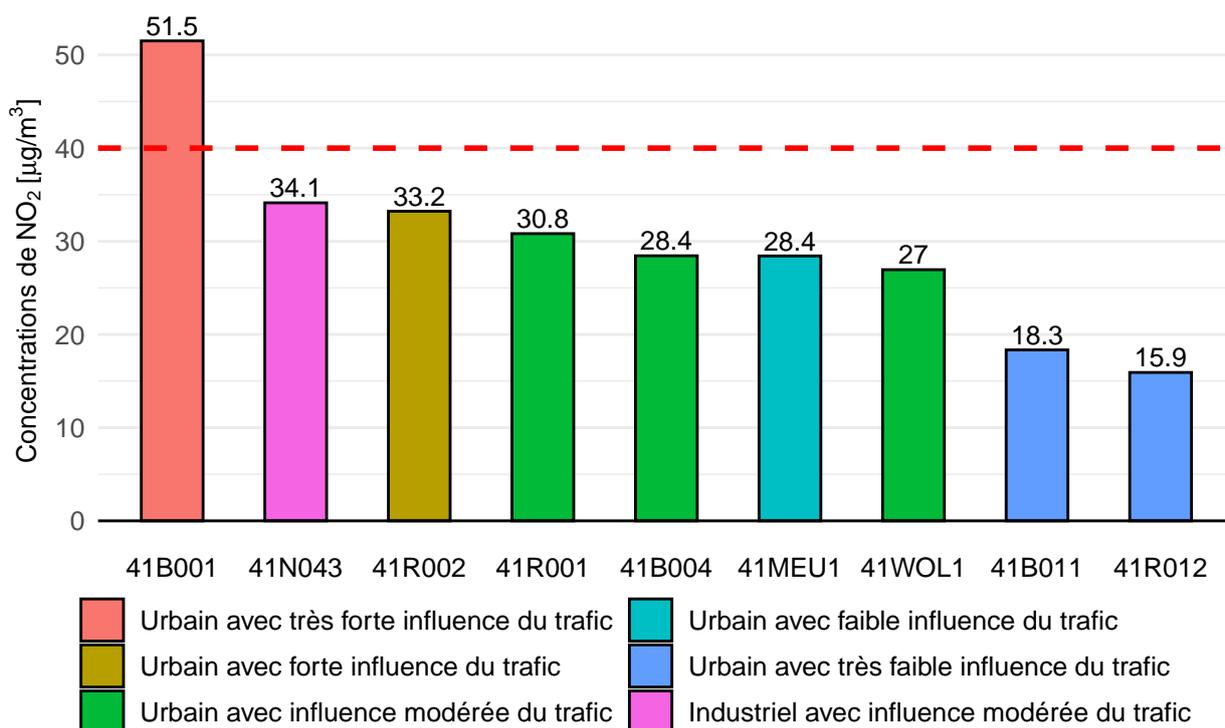
## RÉSUMÉ

De façon générale, l'année 2019 s'est soldée par une amélioration notable de la qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale (RBC). Deux effets sont à mettre en exergue pour expliquer ce constat. D'une part, les conditions météorologiques ont été plutôt favorables à la dispersion des polluants en 2019. D'autre part, il est probable que l'évolution des émissions du trafic, et en particulier liée à l'accélération de la transition du diesel vers l'essence, ait également joué un rôle significatif.

### DIOXYDE D'AZOTE (NO<sub>2</sub>)

Parmi les polluants gazeux, le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) est assurément le plus problématique en termes de respect des normes européennes. Au fil des années, on note néanmoins une diminution régulière des niveaux de pollution dans l'air ambiant.

La concentration moyenne annuelle à chaque station en 2019 est présentée sur la Figure 1. Les concentrations les plus élevées ont été mesurées aux stations d'Arts-Loi (41B001), Haren (41N043) et Ixelles (41R002). Pour la première fois, toutes les stations concernées par le rapportage européen respectent la valeur limite européenne de 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle, identique à la valeur annuelle recommandée par l'OMS.



**Figure 1** – Concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> pour chaque station de la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne identique à la valeur guide de l'OMS de 40 µg/m<sup>3</sup>. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 16). Notez que la station d'Arts-Loi ne remplit pas les critères d'implantation de la Directive européenne 2008/50/CE et ne fait donc pas partie du rapportage européen.

La concentration horaire maximale pour l'année 2019 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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> également mais avec *aucun* dépassement autorisé, est respectée pour toutes les stations de la RBC depuis 2017.



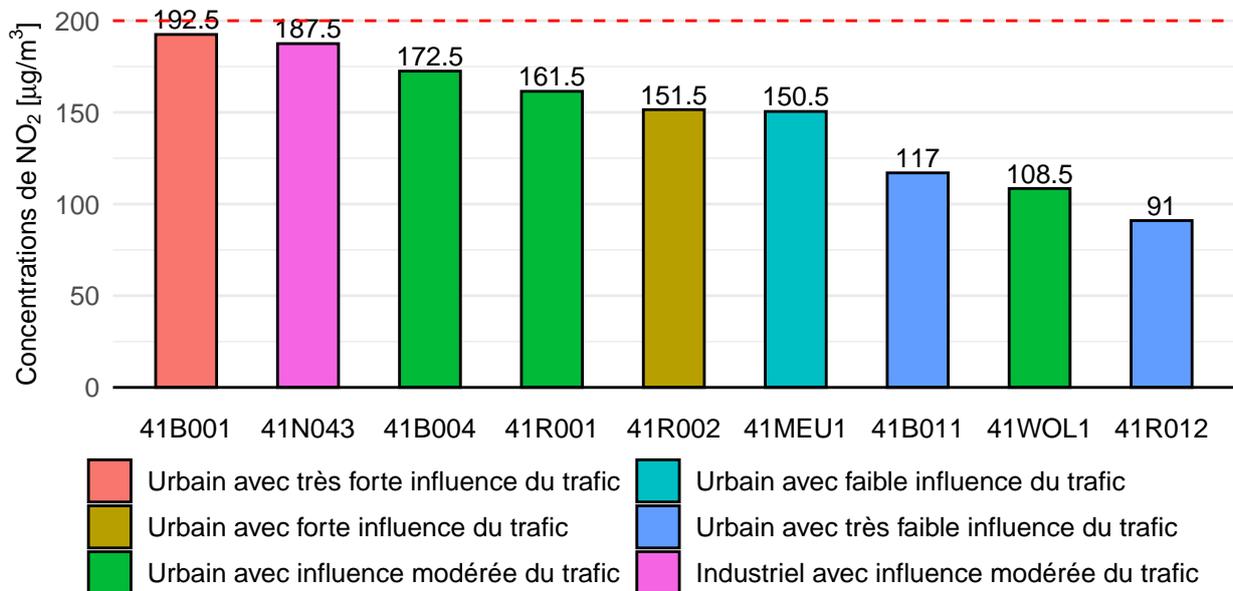


Figure 2 – Concentrations horaires maximales de NO<sub>2</sub> pour chaque station de la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne identique à la valeur guide de l'OMS de 200 µg/m<sup>3</sup>. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1 (voir page 16).

## PARTICULES FINES PM<sub>10</sub>

La concentration moyenne annuelle de PM<sub>10</sub> par station en 2019 est présentée sur la Figure 3. On peut constater que la valeur limite européenne de 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle est largement respectée pour toutes les stations de mesure. La valeur annuelle recommandée par l'OMS de 20 µg/m<sup>3</sup> est quant à elle encore dépassée à la station de Haren (41N043). La station de Neder-Over-Heembeek (41MEU1) ne dispose pas de suffisamment de données pour conclure, voir Annexe A.1.

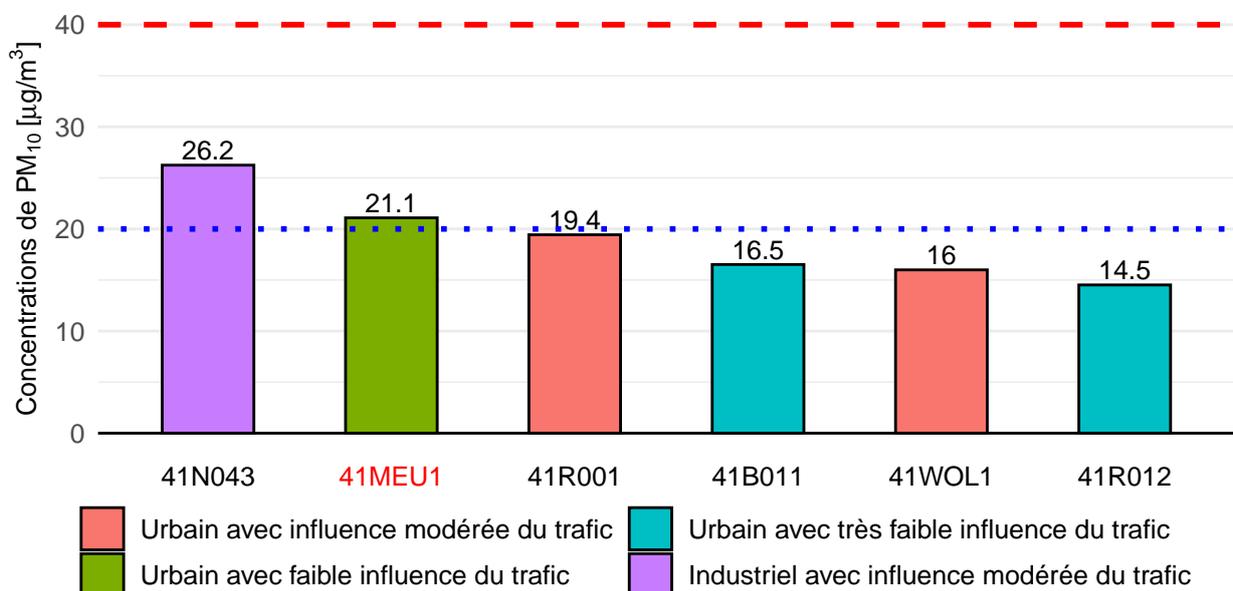
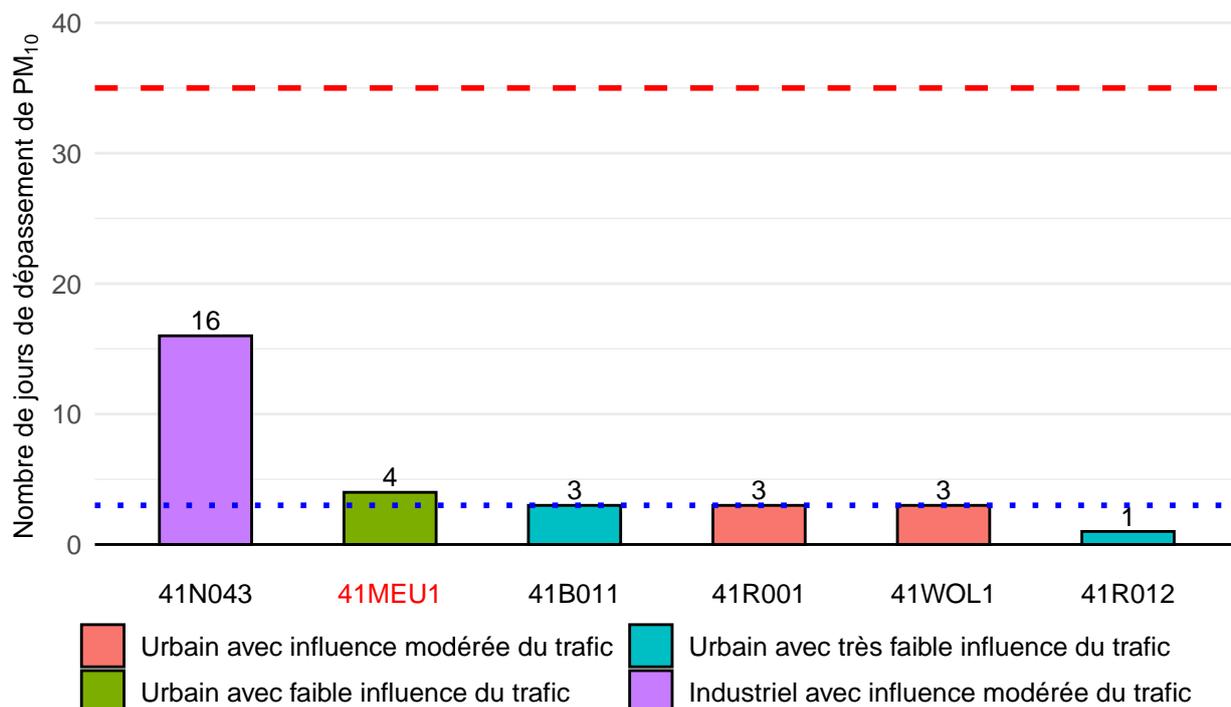


Figure 3 – Concentrations moyennes annuelles de PM<sub>10</sub> pour chaque station de la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l'OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Les codes des 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 16).

Le nombre de jours de dépassement de la valeur limite européenne journalière de 50 µg/m<sup>3</sup> (à ne pas dépasser plus de 35 fois par an) est présenté sur la Figure 4. Cette valeur limite est identique à la valeur journalière recommandée par l'OMS, mais avec seulement 3 dépassements autorisés. On peut constater que toutes les stations respectent largement la valeur limite journalière européenne et que la valeur journalière recommandée



par l'OMS n'est dépassée qu'aux stations de Haren et Neder-Over-Heembeek (voir Annexe A.1).



**Figure 4** – Nombre de jours de dépassement des concentrations de  $PM_{10}$  de la valeur limite journalière pour chaque station de la RBC en 2019. 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 autorisés par l'OMS (3) est indiqué 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 16).

## PARTICULES FINES $PM_{2.5}$

La concentration moyenne annuelle de  $PM_{2.5}$  par station en 2019 est présentée sur la Figure 5. On peut y voir que la valeur limite européenne de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle est largement respectée pour toutes les stations de mesure. La valeur annuelle recommandée par l'OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est quant à elle encore dépassée pour toutes les stations sauf à la station d'Uccle (41R012) où elle est atteinte de justesse.

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  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à ne pas dépasser plus de 3 fois par an. Le nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l'OMS pour les  $PM_{2.5}$  est présentée sur la Figure 6. Cette valeur est dépassée largement pour toutes les stations de la RBC en 2019, y compris dans les stations urbaines de fond. Remarquons qu'elle est dépassée également partout en Belgique, y compris dans les stations de fond rural, soit les stations les moins exposées aux sources directes.

## 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 7, pour l'année 2019 ainsi qu'en moyenne sur les trois dernières années (2017-2018-2019). On peut directement constater qu'en moyenne sur trois ans, la valeur cible n'est dépassée qu'à la station de Neder-Over-Heembeek (41MEU1) avec 27 dépassements (bâtonnets de droite); toutes les autres stations ayant enregistré moins de 25 jours de dépassement. Cependant, ce dépassement doit être mitigé, en effet :

- la station de Neder-Over-Heembeek ne disposait pas encore de moniteur de mesure de l'ozone en 2017, il n'y a donc pas de valeur pour cette année,
- la station de Neder-Over-Heembeek a enregistré 27 dépassements en 2018 (voir Annexe A.1), année ayant connu un été caniculaire,
- la station de Neder-Over-Heembeek n'a enregistré que 7 dépassements en 2019 mais n'a pas atteint les 85% de saisie minimale de données pour l'ozone, cette valeur n'est donc pas prise en compte.



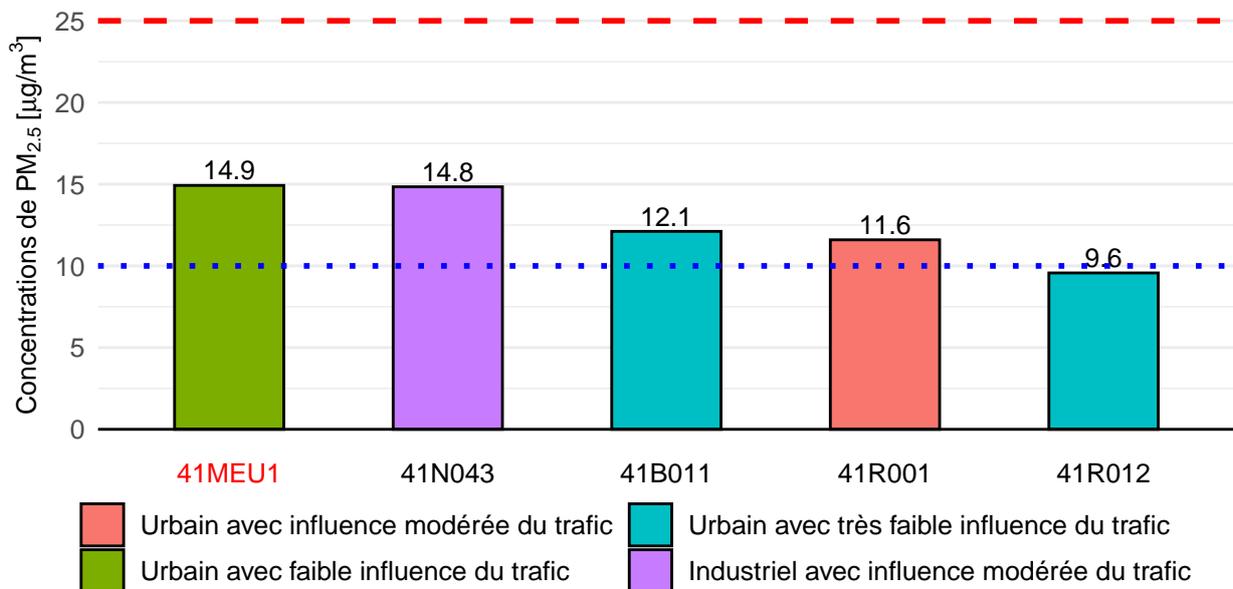


Figure 5 – Concentrations moyennes annuelles de  $PM_{2.5}$  pour chaque station de la RBC en 2019 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l'OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Les codes 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 16).

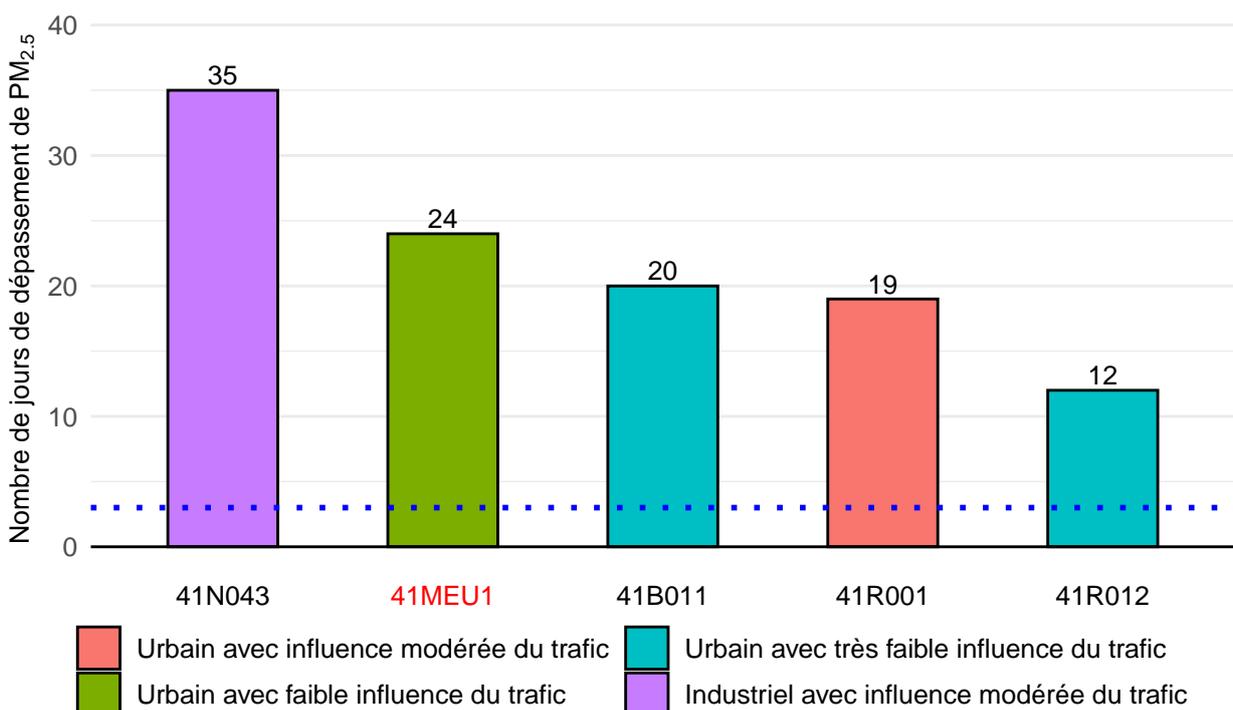


Figure 6 – Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l'OMS pour les  $PM_{2.5}$  de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour chaque station de la RBC en 2019. Le nombre de dépassements autorisés par l'OMS (3) est indiqué par le trait pointillé bleu. Les codes des stations sont 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 16).

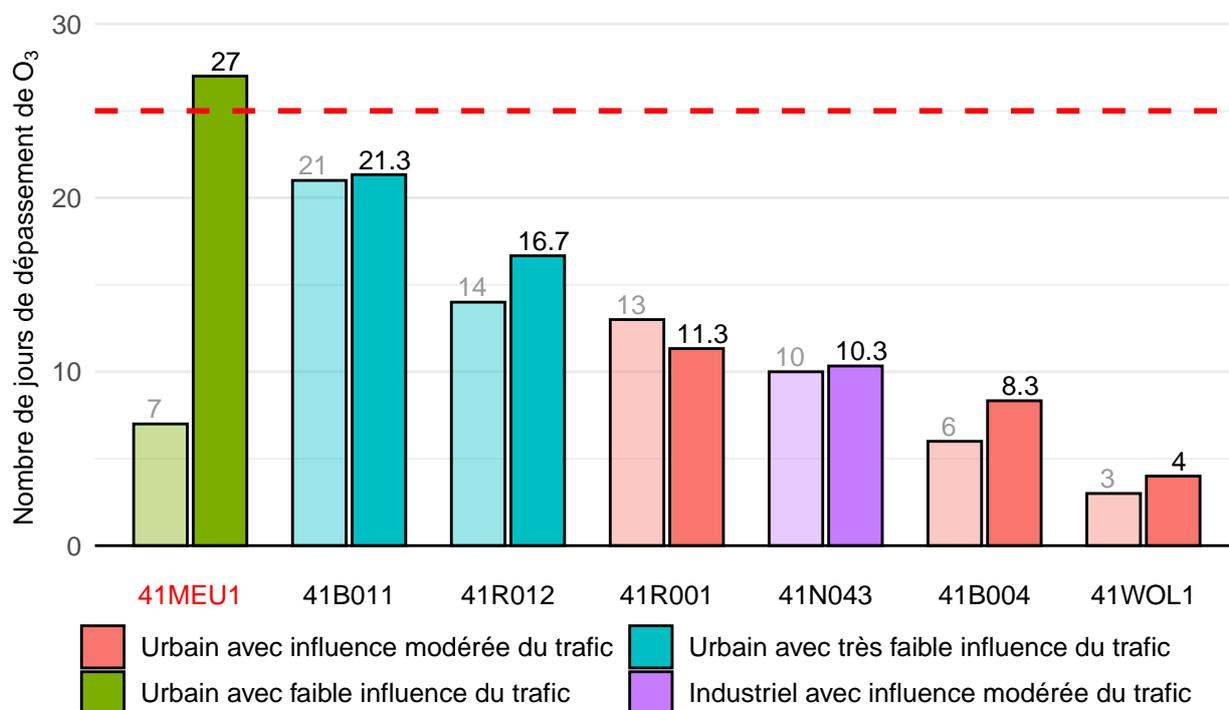
La Directive européenne et l'IPR prévoient en outre que la moyenne sur trois ans soit calculée dès qu'une année est disponible. En pratique, cela signifie que la valeur de la moyenne sur trois ans en 2019 correspond en réalité à l'unique valeur obtenue en 2018 à la station de Neder-Over-Heembeek, année exceptionnellement chaude et ensoleillée. Au sens strict, la valeur ainsi obtenue à la station de Neder-Over-Heembeek dépasse donc la valeur cible pour l'ozone en 2019.

Les nombres de jours de dépassements du maximum journalier obtenus spécifiquement pour l'année 2019



sont également indiquées par les bâtonnets de gauche. Les stations les moins exposées au trafic routier, Uccle (41R012) et Berchem-Sainte-Agathe (41B011), présentent les valeurs les plus élevées, alors que Woluwe-Saint-Lambert (41WOL1) présente la valeur la plus faible. La station de Neder-Over-Heembeek ne disposait pas de la saisie de données minimale requise en 2019 et la valeur est donc présentée à titre indicatif.

*A contrario*, la valeur recommandée par l'OMS (*aucun* dépassement du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures) n'est respectée à aucune station de mesure de la RBC puisqu'au moins un dépassement est enregistré à chaque station. À titre de comparaison, la valeur recommandée par l'OMS n'a été respectée nulle part en Belgique en 2018.



**Figure 7** – Nombre de jours de dépassement du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures des concentrations de O<sub>3</sub> pour chaque station de la RBC en 2019 (la valeur de droite représente la moyenne glissante sur les 3 dernières années (2017-2018-2019), tandis que la valeur de gauche désigne la valeur pour l'année 2019). 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 16).



# 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<sub>2</sub>),
- les particules en suspension ou particules fines (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>),
- l'ozone (O<sub>3</sub>),
- le monoxyde de carbone (CO),
- le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)

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 munies 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).

En 2019, les conditions météorologiques ont été favorables à la dispersion des polluants, ce qui explique déjà en grande partie les concentrations basses mesurées dans le réseau téléométrique.



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

A côté des normes européennes, basées sur des aspects santé mais devant également être réalisables économiquement pour les Etats membres, l'OMS fournit également toute une série de valeurs recommandées, non contraignantes légalement et exclusivement basées sur des aspects santé [WHO, 2005].

Ces valeurs guides sont regroupées dans la Table 1.2.

### 1.5 OBJECTIFS DU RAPPORT

Ce rapport a pour objectif de présenter les mesures des polluants de l'air ambiant obtenues en 2019 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.

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 2019 et les dix dernières années (2010 - 2019). Enfin, nos conclusions sont rassemblées au chapitre 9.

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.



**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 <sub>10</sub>  | 1 jour  | Valeur limite : 50 µg/m <sup>3</sup>                               | 35 jours de dépassement autorisés par an  |
|                   | Année calendrier  | Valeur limite : 40 µg/m <sup>3</sup>                               |   |
| PM <sub>2.5</sub> | Année calendrier  | Valeur limite : 25 µg/m <sup>3</sup>                               |   |
|                   | Année calendrier  | IEM : 20 µg/m <sup>3</sup>   | 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 <sub>3</sub>    | Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures | Valeur cible : 120 µg/m <sup>3</sup>                               | 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 <sup>3</sup>                      | aucun dépassement autorisé  |
|                   | 1 heure   | Seuil d'information : 180 µg/m <sup>3</sup>                        |   |
| NO <sub>2</sub>   | 1 heure   | Seuil d'alerte : 240 µg/m <sup>3</sup>                             |   |
|                   | 1 heure   | Valeur limite : 200 µg/m <sup>3</sup>                              | 18 heures de dépassement autorisées par an  |
|                   | 1 heure   | Seuil d'alerte : 400 µg/m <sup>3</sup>                             | Mesuré sur 3 heures consécutives et 100 km <sup>2</sup> ou une zone entière   |
| SO <sub>2</sub>   | Année calendrier  | Valeur limite : 40 µg/m <sup>3</sup>                               |   |
|                   | 1 heure   | Valeur limite : 350 µg/m <sup>3</sup>                              | 24 heures de dépassement autorisées par an  |
|                   | 1 heure   | Seuil d'alerte : 500 µg/m <sup>3</sup>                             | Mesuré sur 3 heures consécutives et 100 km <sup>2</sup> ou une zone entière   |
| CO                | 1 jour  | Valeur limite : 125 µg/m <sup>3</sup>                              | 3 jours de dépassement autorisés par an   |
|                   | Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures | Valeur limite : 10 mg/m <sup>3</sup>                               |   |



*Table 1.2 – Valeurs guides pour la qualité de l'air recommandées par l'OMS.*

| <b>Polluant</b>   | <b>Période de moyenne</b>                               | <b>Concentration recommandée</b> | <b>Commentaires</b>                     |
|-------------------|---|----------------------------------|---|
| PM <sub>10</sub>  | Année calendrier  | 20 µg/m <sup>3</sup>             |   |
|                   | 1 jour  | 50 µg/m <sup>3</sup>             | 3 jours de dépassement autorisés par an |
| PM <sub>2.5</sub> | Année calendrier  | 10 µg/m <sup>3</sup>             |   |
|                   | 1 jour  | 25 µg/m <sup>3</sup>             | 3 jours de dépassement autorisés par an |
| O <sub>3</sub>    | Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures | 100 µg/m <sup>3</sup>            | aucun dépassement autorisé par an       |
| NO <sub>2</sub>   | Année calendrier  | 40 µg/m <sup>3</sup>             |   |
|                   | 1 heure   | 200 µg/m <sup>3</sup>            | aucun dépassement autorisé par an       |
| SO <sub>2</sub>   | 1 jour  | 20 µg/m <sup>3</sup>             |   |
|                   | 10 minutes  | 500 µg/m <sup>3</sup>            |   |



## 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<sup>er</sup> 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 (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 SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> 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 O<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub> et en particules en suspension PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. 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).

### 2.2 STATIONS ET TYPES D'ENVIRONNEMENT

Le réseau de mesures géré par Bruxelles Environnement comporte 9 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 oeuvre 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). 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.

En plus des polluants réglementaires, soit les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les particules fines PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>, un certain nombre de sites de mesures enregistrent le *black carbon* (BC) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par intérêt scientifique. La Table 2.2 présente les polluants mesurés dans chaque station gérée par Bruxelles Environnement.



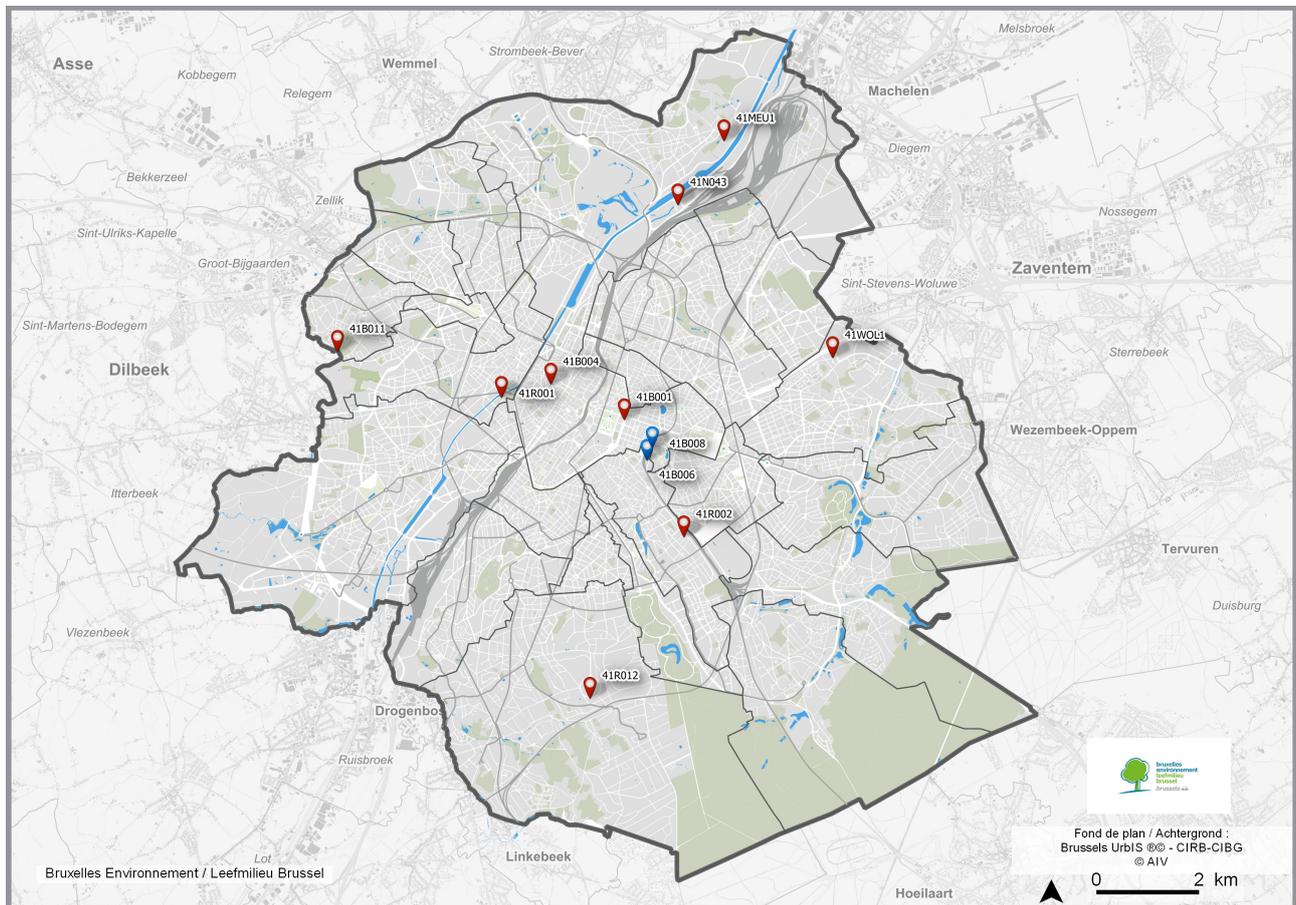
*Table 2.1 – Stations par type d'environnement*

| <b>Environnement de station</b>             | <b>Station(s)</b>   |
|---|---|
| Urbain avec très faible influence du trafic | 41R012 - Uccle<br>41B011 - Berchem-Sainte-Agathe  |
| Urbain avec faible influence du trafic      | 41MEU1 - Neder-Over-Heembeek (Parc Meudon)<br>41B006 - Parlement UE (non gérée par BE)      |
| Urbain avec influence modérée du trafic     | 41R001 - Molenbeek-Saint-Jean<br>41B004 - Sainte-Catherine<br>41WOL1 - Woluwe-Saint-Lambert |
| Urbain avec forte influence du trafic       | 41R002 - Ixelles  |
| Urbain avec très forte influence du trafic  | 41B008 - Rue Belliard (non gérée par BE)<br>41B001 - Arts-Loi                               |
| Industriel avec influence modérée du trafic | 41N043 - Avant-port (Haren)   |

*Table 2.2 – Polluants mesurés pour chaque station gérée par Bruxelles Environnement. Les  $PM_{2.5}$  ne sont pas mesurés à 41WOL1 car il s'agit d'un modèle d'instrument qui ne réalise pas la séparation des fractions  $PM_{10}/PM_{2.5}$ , contrairement aux autres instruments du réseau télémétrique.*

| <b>Station</b>          | <b>O<sub>3</sub></b> | <b>NO, NO<sub>2</sub></b> | <b>CO</b> | <b>CO<sub>2</sub></b> | <b>SO<sub>2</sub></b> | <b>PM<sub>10</sub></b> | <b>PM<sub>2.5</sub></b> | <b>BC</b> |
|-------------------------|----------------------|---------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
| 41B001                  |                      | ✓                         | ✓         |                       | ✓                     |                        |                         |           |
| 41B004                  | ✓                    | ✓                         | ✓         |                       |                       |                        |                         |           |
| 41B011                  | ✓                    | ✓                         |           |                       |                       | ✓                      | ✓                       |           |
| 41MEU1                  | ✓                    | ✓                         |           |                       |                       | ✓                      | ✓                       |           |
| 41N043                  | ✓                    | ✓                         | ✓         |                       | ✓                     | ✓                      | ✓                       | ✓         |
| 41R001                  | ✓                    | ✓                         | ✓         |                       | ✓                     | ✓                      | ✓                       | ✓         |
| 41R002                  |                      | ✓                         | ✓         | ✓                     | ✓                     |                        |                         | ✓         |
| 41R012                  | ✓                    | ✓                         |           | ✓                     | ✓                     | ✓                      | ✓                       | ✓         |
| 41WOL1                  | ✓                    | ✓                         | ✓         | ✓                     | ✓                     | ✓                      |                         | ✓         |
| <b>Total / polluant</b> | <b>7</b>             | <b>9</b>                  | <b>6</b>  | <b>3</b>              | <b>7</b>              | <b>6</b>               | <b>5</b>                | <b>5</b>  |





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

## 2.4 DESCRIPTIF DES STATIONS

### 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 (41B006) 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 SO<sub>2</sub> notamment) par vent de sud-est à sud-ouest.

#### 2.4.6 Place Sainte-Catherine

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 Woluwe-Saint-Lambert (41WOL1)

La station est caractérisée par un environnement urbain avec influence modérée du trafic. La station est située non loin de l'entrée de l'autoroute E40 et on peut voir l'influence de cet axe sur les concentrations de polluants liés au trafic (NO<sub>x</sub>, BC) lorsque le vent est de secteur nord.

#### 2.4.8 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 canyon<sup>1</sup>.

#### 2.4.9 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.

#### 2.4.10 Arts-Loi (41B001)

Le choix de l'emplacement du poste 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

<sup>1</sup>soit une rue au trafic intense fortement enclavée par des bâtiments qui entravent la dispersion des polluants



encore plus élevées qu'auparavant, notamment en NO<sub>2</sub>. Suite aux travaux d'aménagement de la station de métro « Arts-Loi », le poste 41B003 a dû être mis 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).

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.

#### **2.4.11 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<sub>2</sub> 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 (NO<sub>2</sub>) :

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

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 NO<sub>2</sub> soit également produit), sauf dans les motorisations diesel pour lesquelles le rapport NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> peut atteindre 60%. Le NO<sub>2</sub> 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 (63% des émissions totales pour l'année 2018) et en particulier les moteurs diesel, le chauffage des bâtiments (24%) et, dans une moindre mesure, la production d'énergie (6%) et l'industrie (3%) [Bruxelles Environnement, 2020].

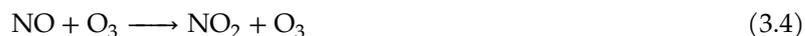
Lors de la combustion, au niveau de la flamme (à haute température, supérieure à 600°C), le NO est le composé thermodynamiquement le plus stable, bien que le rendement de la réaction ne soit réellement élevé qu'à des températures beaucoup plus hautes (supérieures à 1000°C), comme lorsque la foudre tombe.



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 NO<sub>2</sub> par l'oxygène excédentaire :



Dans l'air ambiant, le NO est lentement oxydé en NO<sub>2</sub> par l'oxygène de l'air (par la même réaction (3.3)) et plus rapidement en présence d'ozone (O<sub>3</sub>) :



Le NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> 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 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et intervenir dans la formation de particules secondaires, par réaction avec l'ammonium (lui-même formé sur base de l'ammoniac NH<sub>3</sub> 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 HNO<sub>3</sub>.

D'un point de vue des aspects de santé, le NO présent dans l'air ambiant est moins toxique que le NO<sub>2</sub> [WHO, 2013] et ne fait pas l'objet d'une réglementation ou de recommandations. *A contrario*, le NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> fait l'objet d'une réglementation au niveau européen ainsi que de valeurs recommandées par l'OMS, pas le NO. La mesure du NO<sub>2</sub> 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/m<sup>3</sup> à ne pas dépasser plus de 18 fois par an (18 heures autorisées),
- une valeur limite annuelle de 40 µg/m<sup>3</sup>.

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

## 3.3 MESURES ACTUELLES

Nous analysons dans cette sections les concentrations de dioxyde d'azote durant l'année 2019, en particulier vis-à-vis des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l'OMS. En 2019, la concentration annuelle en dioxyde d'azote a diminué d'environ 10% en moyenne par rapport à 2018. Pour la première fois, toutes les stations prises en compte dans l'évaluation du respect des normes de qualité de l'air ont respecté les valeurs limites (annuelle et horaire) européennes. Parmi les stations rapportées à la Commission Européenne, les concentrations les plus élevées en NO<sub>2</sub> ont été observées aux stations d'Ixelles et de Haren.

### 3.3.1 Valeur limite annuelle

Les concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> sont présentées sur la Figure 3.1 pour toutes les stations pour lesquelles la saisie minimale de données (horaires) est de 85%, comme exigé par la Directive 2008/50/CE (via l'IPR [European Commission, 2018]) - voir Annexe A.1.

On peut constater d'emblée que seule la station d'Arts-Loi (41B001) dépasse la valeur limite annuelle de 40 µg/m<sup>3</sup>, identique à la valeur recommandée par l'OMS, avec une concentration moyenne annuelle de 51.5 µg/m<sup>3</sup>. Cette station est située sur le carrefour à l'intersection entre la petite ceinture et la rue de la Loi et est représentative d'un environnement urbain très fortement influencé par le trafic routier. Etant donné le lien prononcé du NO<sub>2</sub> avec le trafic routier, il n'est donc pas étonnant que ce soit cette station qui enregistre la concentration annuelle la plus élevée en RBC. Ce constat des concentrations de NO<sub>2</sub> dépassant la valeur limite annuelle européenne à proximité immédiate du trafic est commun, entre autres, à toutes les grandes villes du nord-ouest de l'Europe [EEA, 2019].

Les concentrations mesurées par la station d'Arts-Loi sont publiées en temps réel et utilisées pour l'analyse de données aux abords directs du trafic, mais ne sont pas rapportées à l'Europe car la station ne respecte pas les critères de micro-implantation (critères locaux d'installation) de la Directive 2008/50/CE (voir section 2.4.10). 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.

Les second et troisième maxima de concentration annuelle de NO<sub>2</sub> en RBC sont du même ordre de grandeur (34.1 et 33.2 µg/m<sup>3</sup>, respectivement) et se situent en-dessous de la valeur limite annuelle européenne. Ces concentrations sont mesurées aux stations de Haren (41N043) et Ixelles (41R002). Etant située au port de Bruxelles, non loin de l'incinérateur, la station de Haren est représentative d'un environnement industriel avec influence modérée du trafic, mais avec une proportion de camions (et donc de motorisations diesel) élevée. En effet, ce type de motorisation émet :

- beaucoup plus de NO<sub>x</sub> que les véhicules à essence (de 3 à 20 fois plus que des moteurs à essence comparables),
- davantage de NO<sub>2</sub> dans le mélange NO<sub>x</sub> (jusque 60%).

La station d'Ixelles est quant à elle située avenue de la Couronne, une rue canyon représentative d'un environnement urbain avec forte influence du trafic routier. Ces environnements expliquent les valeurs relativement élevées des concentrations de NO<sub>2</sub> à ces stations ; comprises entre 30 et 40 µg/m<sup>3</sup>.

La station de Molenbeek-Saint-Jean (41R001) arrive en quatrième position avec une concentration annuelle de NO<sub>2</sub> de 30.8 µg/m<sup>3</sup>, s'écartant des valeurs de Haren et Ixelles tout en restant supérieure à 30 µg/m<sup>3</sup>. Située près du canal à côté de l'écluse 11, la station de Molenbeek-Saint-Jean est une station de référence car elle est



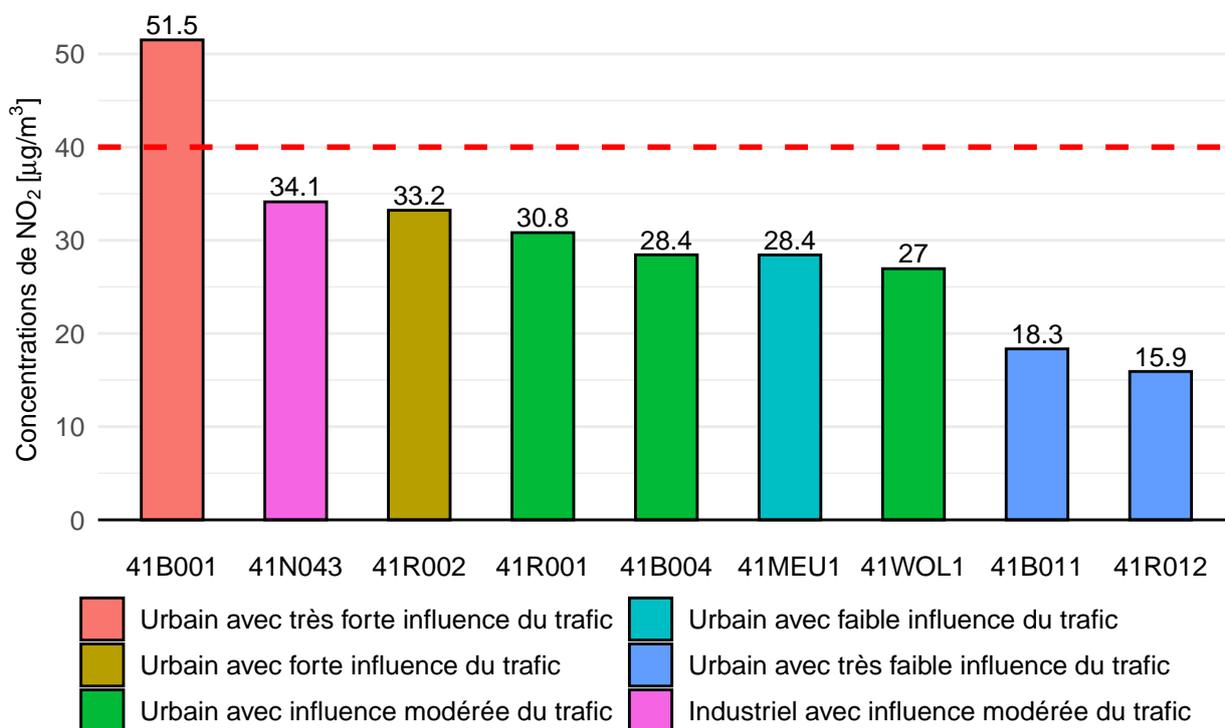
représentative d'un environnement urbain avec influence modérée du trafic routier, soit un environnement très répandu à Bruxelles.

Les stations de Sainte-Catherine (41B004), de Neder-Over-Heembeek (Parc Meudon, 41MEU1) et de Woluwe-Saint-Lambert (41WOL1) affichent des concentrations annuelles comparables de NO<sub>2</sub> (comprises entre 27.0 µg/m<sup>3</sup> et 28.4 µg/m<sup>3</sup>). La station de Sainte-Catherine est modérément influencée par le trafic et son exposition dépend entre autres de la présence ou non d'évènements sur la place ou à proximité. La station de Woluwe-Saint-Lambert est quant à elle située près de l'entrée de l'autoroute E40 et connaît une exposition très différente au trafic selon la direction du vent. En effet, par vent de nord/nord-est, c'est-à-dire provenant de l'autoroute, l'influence du trafic est beaucoup plus forte que lorsque le vent provient du sud (zone résidentielle avec en outre un effet «écran» des bâtiments qui jouxtent la station). Remarquons qu'en RBC, les vents dominants sont de direction sud-ouest, ce qui signifie que le vent provient le plus souvent de cette direction. Il est à noter que pour une station située dans un environnement urbain avec faible influence du trafic, telle que la station de Neder-Over-Heembeek, les concentrations de NO<sub>2</sub> sont relativement élevées en 2019.

Enfin, les stations de Berchem-Sainte-Agathe (41B011) et de Uccle (41R012) enregistrent les concentrations annuelles de NO<sub>2</sub> les plus basses, inférieures à 20 µg/m<sup>3</sup> (respectivement 18.3 et 15.9 µg/m<sup>3</sup>). Ces stations sont situées dans des environnements urbains avec très faible influence du trafic routier ; ce sont des environnements «de fond urbain». Il s'agit par définition d'environnements situés loin des sources directes de pollution.

Il faut remarquer que, si l'on compare ces concentrations à la probable future valeur annuelle recommandée par l'OMS de 20 µg/m<sup>3</sup>, toutes les stations de la RBC sont en dépassement à l'exception des stations de fond urbain, soit Berchem-Sainte-Agathe et Uccle. Ceci signifie que seules les stations mesurant le fond de concentrations de NO<sub>2</sub>, présent sur toute la ville, sont actuellement à même de respecter cette nouvelle valeur guide. Dès que l'environnement de la station est exposé au trafic, même faiblement, la valeur annuelle de 20 µg/m<sup>3</sup> est excédée.

Soulignons également que les stations du Parlement Européen (41B006) et de la rue Belliard (41B008), non gérées par Bruxelles Environnement, sont loin de disposer des 85% de saisie minimale de données horaires requis en 2019 pour que leurs résultats puissent être interprétés correctement. Ceux-ci n'ont donc pas été présentés sur les figures.



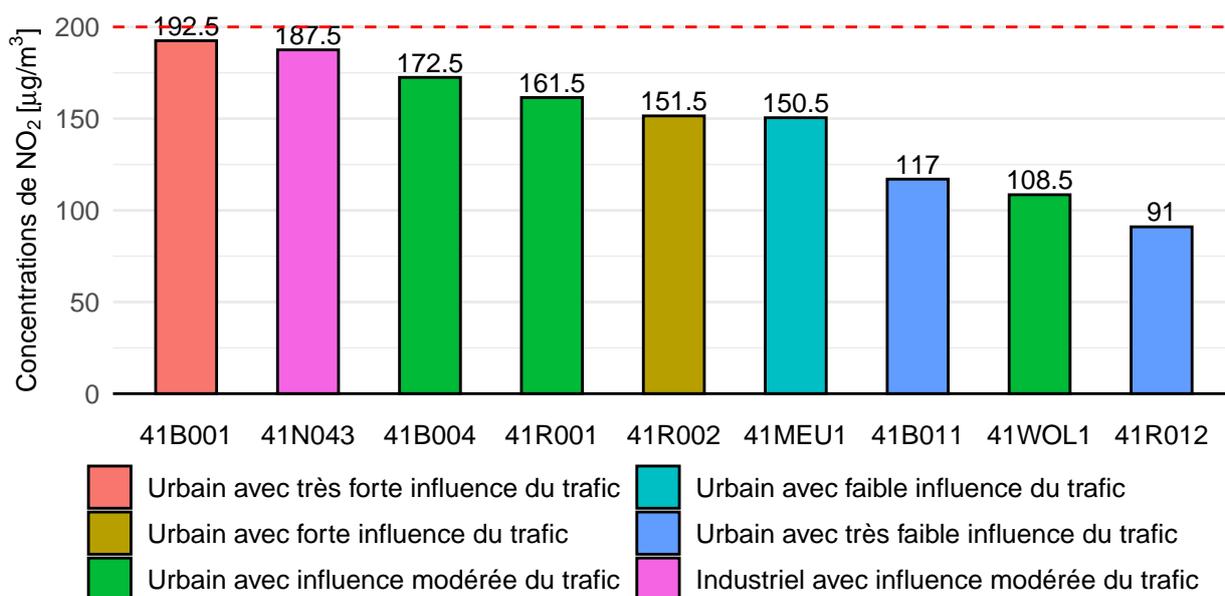
**Figure 3.1** – Concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> pour chaque station de la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne identique à la valeur guide de l'OMS de 40 µg/m<sup>3</sup>. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

### 3.3.2 Valeur limite horaire

La valeur limite horaire pour le NO<sub>2</sub> de 200 µg/m<sup>3</sup>, à ne pas dépasser plus de 18 fois par an, est respectée depuis plus de dix ans à Bruxelles (voir point 3.4.2). En particulier, en 2019, cette valeur limite n'a pas été dépassée



du tout, toutes stations confondues, et la valeur recommandée par l’OMS qui n’autorise *aucun* dépassement par an est donc respectée également (Figure 3.2). Les stations ayant enregistré les maxima les plus élevés sont Arts-Loi et Haren.



**Figure 3.2** – Concentrations horaires maximales de NO<sub>2</sub> pour chaque station de la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite horaire européenne identique à la valeur guide de l’OMS de 200 µg/m<sup>3</sup>. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

La concentration maximale horaire de NO<sub>2</sub> par jour pour toutes les stations est représentée sur la Figure 3.3. On peut y voir que la valeur horaire maximale de 193 µg/m<sup>3</sup> a été enregistrée le 27 août 2019 (à la station d’Arts-Loi). De manière générale, les concentrations de NO<sub>2</sub> 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 s’en approchent).

Les concentrations horaires de NO<sub>2</sub> en 2019 sont rassemblées par type d’environnement de stations<sup>1</sup> à la Figure 3.4. On peut observer que toutes les stations, quel que soit leur environnement, enregistrent des minima comparables et très faibles. Les maxima sont quant à eux logiquement plus élevés dans les environnements urbains avec très forte influence du trafic et industriel avec influence modérée du trafic, où l’on approche 200 µg/m<sup>3</sup> en raison de l’intensité du trafic ou de sa composition (beaucoup de camions et donc de motorisations diesel dans un environnement industriel). *A contrario*, les maxima enregistrés dans les stations avec très faible influence du trafic sont les plus faibles. Au niveau des moyennes et des médianes, l’environnement urbain avec très forte influence du trafic routier est caractérisé par les concentrations les plus élevées, suivi par l’environnement industriel avec influence modérée du trafic. Les sites de fond enregistrent à nouveau en toute logique les concentrations les plus faibles.

### 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, 2019]). Cette diminution est à mettre en lien avec la diminution continue des émissions et avec l’amélioration des technologies, notamment automobiles, en RBC.

#### 3.4.1 Valeur limite annuelle

On peut observer l’évolution sur les dix dernières années des concentrations annuelles de NO<sub>2</sub> sur la Figure 3.5. Chaque boîte à moustache pour une année donnée regroupe donc l’information de toutes les stations du réseau de mesure de saisie minimale de données horaires supérieure à 85%. Le trait rouge indique la valeur limite annuelle européenne de 40 µg/m<sup>3</sup> que *chaque* station doit respecter. On peut d’emblée observer sur cette figure la décroissance nette des concentrations moyennes sur les stations (points bleus) au cours du temps, malgré une stagnation entre 2015 et 2017. Depuis 2017, les concentrations moyennes, médianes, minimales et

<sup>1</sup>L’explication des « boîtes à moustaches » se trouve en Annexe A.2



Concentrations maximales horaires par jour de NO<sub>2</sub> en 2019

2019

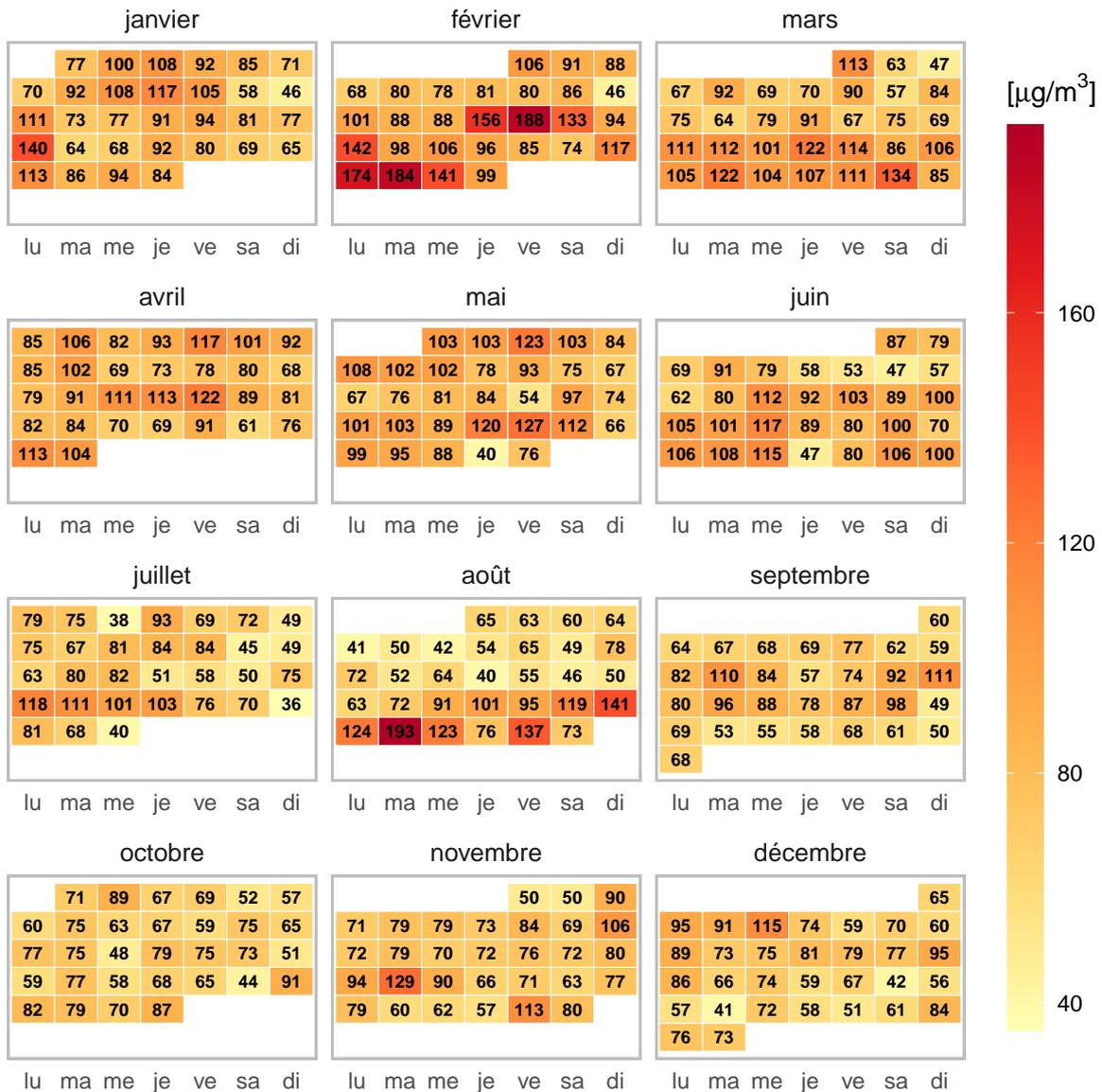


Figure 3.3 – Concentrations horaires maximales journalières de NO<sub>2</sub> pour toutes les stations gérées par Bruxelles Environnement en 2019 [µg/m<sup>3</sup>].

les centiles 75 sont en nette décroissance. 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, alors que le centile 75 la dépasse certaines années seulement. Le centile 25 et le minimum sont toujours en-deçà de la valeur limite annuelle. Cette figure témoigne donc de la nette diminution des concentrations de NO<sub>2</sub>, en particulier ces deux dernières années.

On peut voir également clairement sur la Figure 3.6, la tendance à la baisse des concentrations de NO<sub>2</sub> au cours des années. En 2019, seule la station d'Arts-Loi dépasse encore la valeur limite annuelle de 40 µg/m<sup>3</sup>, mais celle-ci n'est pas rapportée à la Commission européenne car elle ne répond pas aux critères de micro-implantation de la Directive (2.4.10). 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/m<sup>3</sup>. 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/m<sup>3</sup>). Cet effet est dû d'une part à la météo favorable à la dispersion des polluants, et d'autre part probablement à la diminution du trafic avenue de la Couronne, liée aux travaux du boulevard Général Jacques situé à proximité.



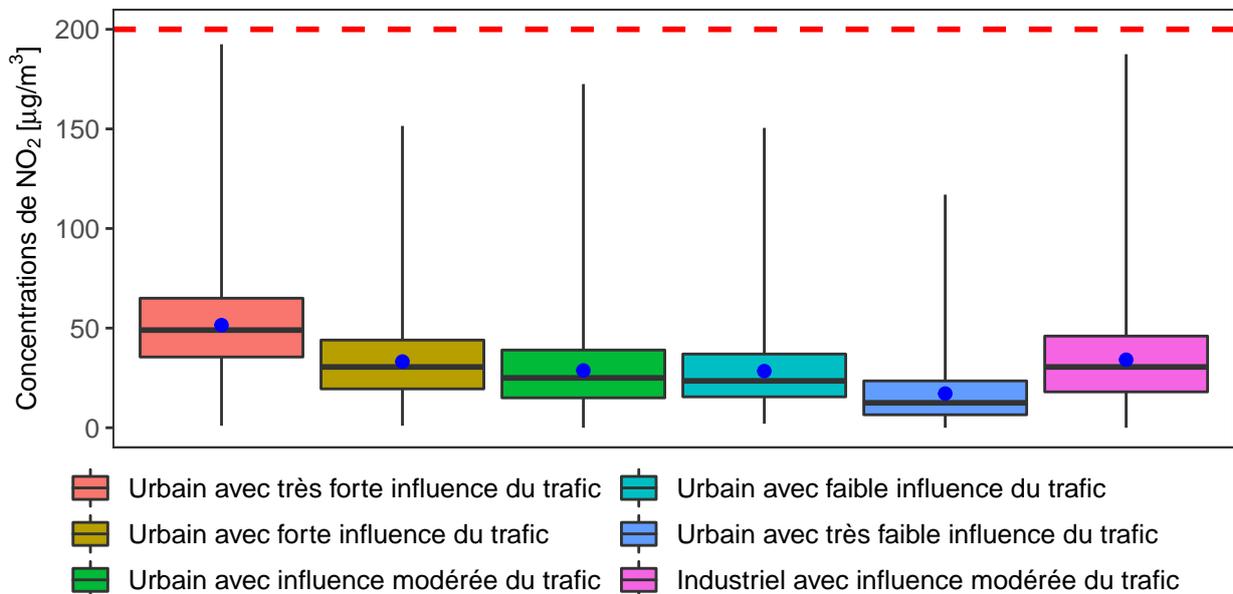


Figure 3.4 – Concentrations horaires de NO<sub>2</sub> par type d’environnement de station pour la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite horaire européenne identique à la valeur guide de l’OMS de 200 µg/m<sup>3</sup>.

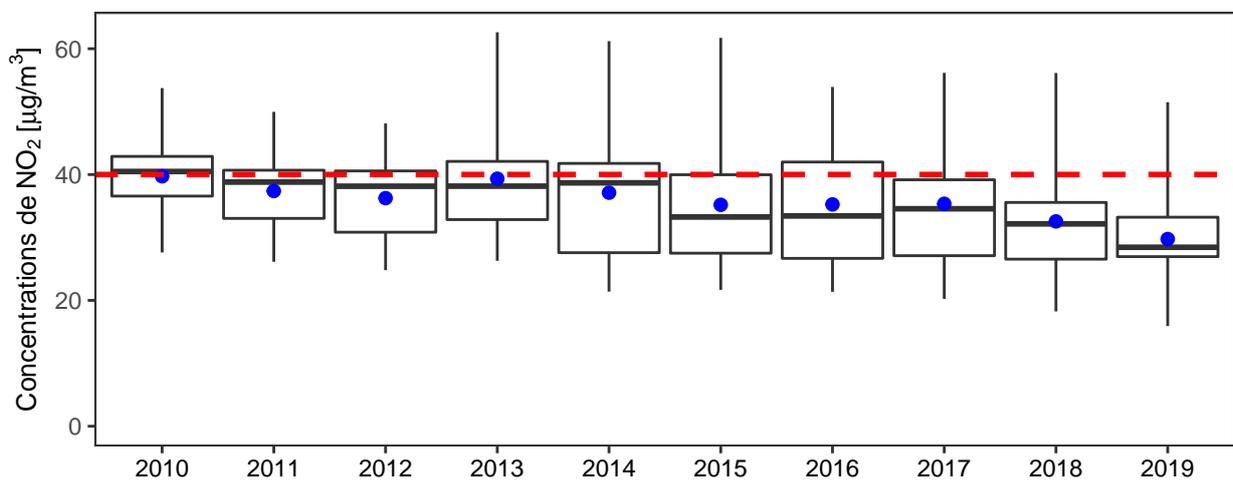
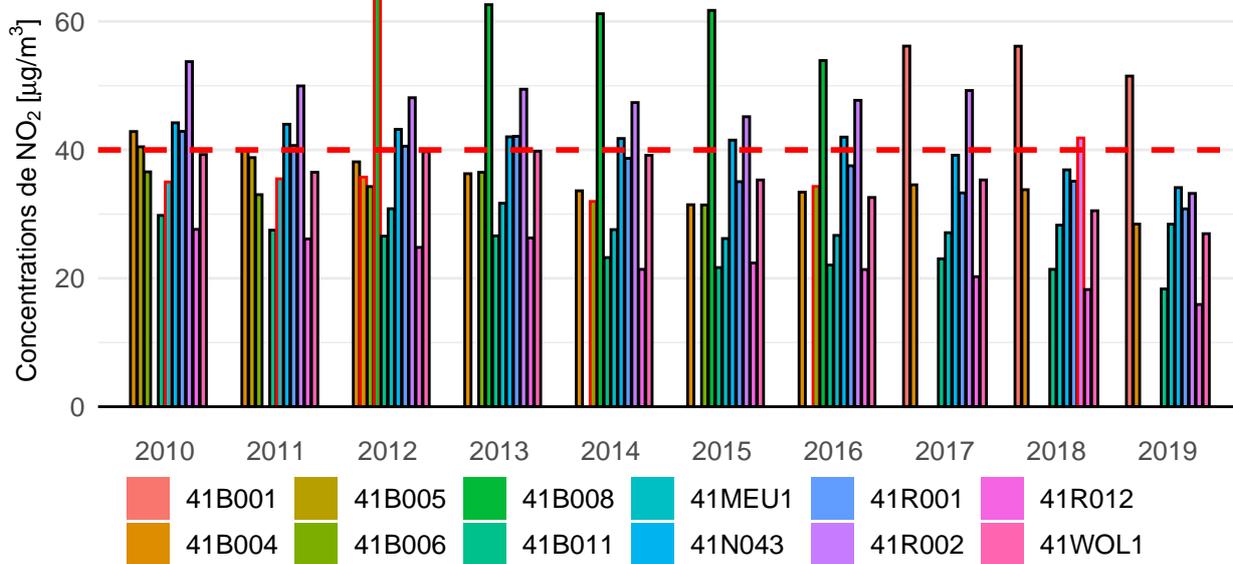


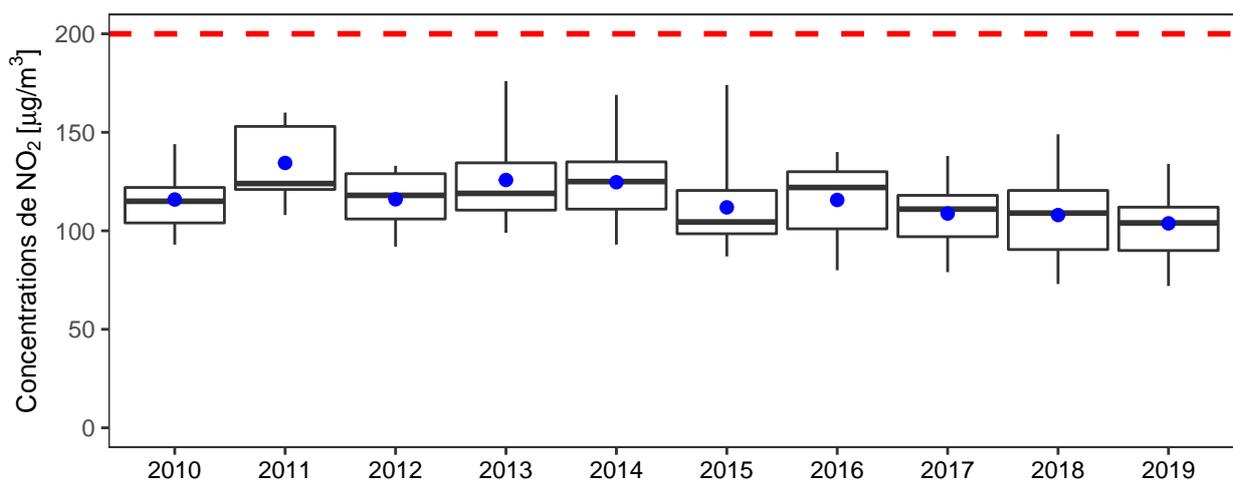
Figure 3.5 – Concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> de toutes les stations pour la RBC sur les dix dernières années [µg/m<sup>3</sup>]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne identique à la valeur guide de l’OMS de 40 µg/m<sup>3</sup>. Les stations 41B006 et 41B008 ne sont plus gérées par Bruxelles Environnement depuis 2018 et n’ont pas disposé des 85% de saisie de données horaires requise ni en 2018 ni en 2019.

### 3.4.2 Valeur limite horaire

Les boîtes à moustaches des 19<sup>ème</sup> maxima annuels des valeurs horaires pour toutes les stations, au cours des dix dernières années, sont présentés sur la Figure 3.7. Comme la valeur limite européenne horaire autorise 18 dépassements du seuil de 200 µg/m<sup>3</sup> par an, comparer le 19<sup>ème</sup> maximum à ce seuil permet de vérifier instantanément si l’on dépasse ou non la norme européenne. On peut constater que, depuis 2010, même les stations enregistrant les 19<sup>ème</sup> maxima les plus élevés restent bien en-dessous du seuil de 200 µg/m<sup>3</sup>; elles atteignent au maximum environ 175 µg/m<sup>3</sup>. 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/m<sup>3</sup>, mais que les stations restent toujours dans la marge des 18 dépassements autorisés par la Directive 2008/50/CE. Cependant, depuis 2017, le seuil de 200 µg/m<sup>3</sup> n’a pas été dépassé du tout et la RBC respecte donc bien la valeur guide de l’OMS qui n’autorise aucun dépassement.



**Figure 3.6** – Concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> de toutes les stations pour la RBC sur les dix dernières années [µg/m<sup>3</sup>]. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite annuelle européenne identique à la valeur guide de l’OMS de 40 µg/m<sup>3</sup>. 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** – 19<sup>ème</sup> concentration horaire maximale de NO<sub>2</sub> par an pour la RBC [µg/m<sup>3</sup>] sur les dix dernières années. La ligne pointillée rouge indique la valeur limite horaire européenne identique à la valeur guide de l’OMS de 200 µg/m<sup>3</sup>.





## 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<sub>2,5</sub> et de PM<sub>10</sub> (*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 µm<sup>1</sup>.

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 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) provenant notamment de la transformation des oxydes d'azote, des sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), produits notamment lors de la transformation du dioxyde de soufre, et de l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) formé à partir de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) 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 fine<sup>2</sup>, 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<sub>2,5</sub> proviennent principalement du transport routier (29%), du chauffage résidentiel (25%) et des processus industriels (22%). Les particules PM<sub>10</sub> proviennent majoritairement du transport routier (35%), des processus industriels (21%) et du chauffage résidentiel (20%) (valeurs provenant des inventaires d'émissions bruxellois de 2018 [Bruxelles Environnement, 2020]). On peut donc constater que mêmes les sources **principales** de particules fines sont très diverses, contrairement aux NO<sub>x</sub> par exemple, majoritairement émis (63%) par une source précise, le trafic routier (chapitre 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].

<sup>1</sup>Les 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.

<sup>2</sup>Ici, 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<sub>2,5</sub> et les PM<sub>10</sub>. Il s'agit d'un abus de langage en français, qui est cependant largement utilisé.



## 4.2 RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE ET VALEURS RECOMMANDÉES PAR L'OMS

Les  $PM_{10}$  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  $PM_{10}$  :

- une valeur limite de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 fois par an (35 jours par an),
- une valeur limite de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle,

et une valeur limite pour les  $PM_{2.5}$  de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle (depuis 2015).

Les valeurs recommandées par l'OMS sont plus strictes que les valeurs européennes, que ce soit au niveau des seuils ou des nombres de dépassements autorisés.

Pour les  $PM_{10}$ , les valeurs guides de l'OMS sont :

- une valeur guide de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 fois par an (3 jours par an),
- une valeur guide de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle .

Pour les  $PM_{2.5}$ , les valeurs guides de l'OMS sont :

- une valeur guide de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 3 fois par an (3 jours par an),
- une valeur guide de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne annuelle.

En particulier, la valeur guide annuelle de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est extrêmement basse.

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 Uccle et Molenbeek-Saint-Jean, représentatives de l'exposition globale de la population. Une valeur limite pour la Belgique de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $15.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En 2018, l'IEM belge était déjà de  $13.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et remplissait donc déjà l'objectif pour 2020 [IRCEL-CELINE, 2019].

## 4.3 MESURES ACTUELLES DE $PM_{10}$

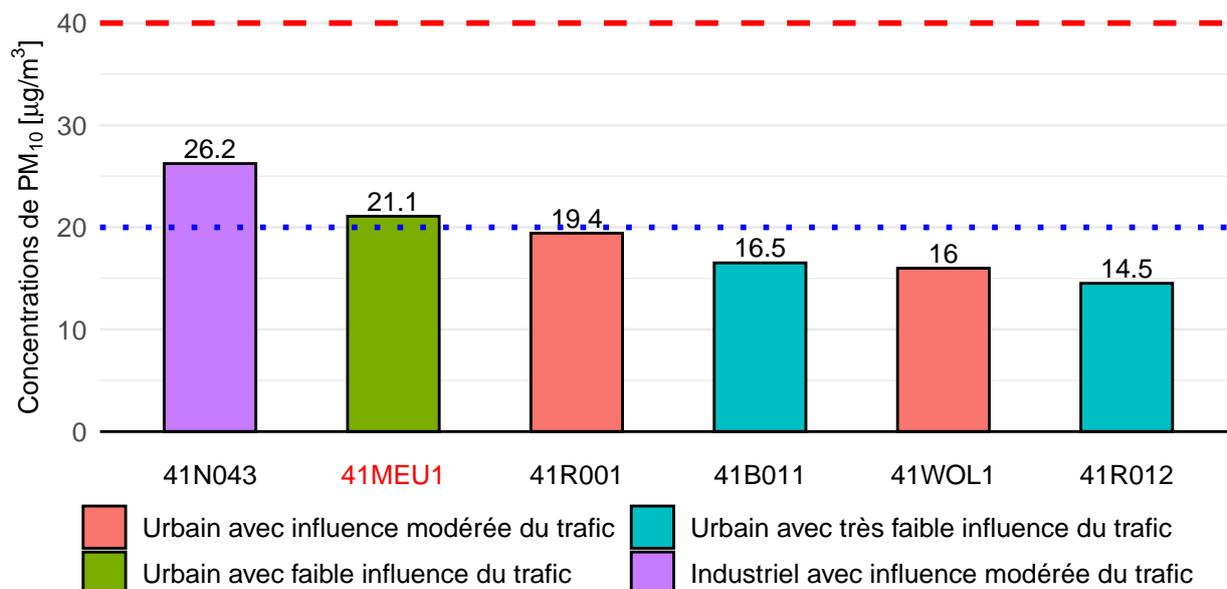
Dans cette section, nous analysons les concentrations de particules fines  $PM_{10}$  durant l'année 2019, en particulier vis-à-vis des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l'OMS. En 2019, la concentration annuelle en  $PM_{10}$  a diminué de 12% en moyenne par rapport à 2018. Toutes les stations de mesures bruxelloises ont respecté la valeur limite européenne annuelle et journalière pour les  $PM_{10}$ . En outre, la valeur annuelle recommandée par l'OMS a été respectée dans toutes les stations de mesure sauf celle de Haren (41N043). La valeur journalière recommandée par l'OMS a quant à elle été dépassée aux stations de Haren et de Neder-Over-Heembeek (41MEU1).

### 4.3.1 Moyennes annuelles

La valeur limite annuelle européenne de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{10}$  est largement respectée en RBC en 2019, comme on peut le voir sur la Figure 4.1. En fait, le respect de la valeur limite annuelle de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  n'est plus problématique depuis plus de 10 ans, comme on le verra au point 4.4. Si l'on compare les concentrations en 2019 à la valeur annuelle recommandée par l'OMS de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , beaucoup plus stricte, on peut en outre constater que seule la station de Haren la dépasse avec une moyenne annuelle de  $26.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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  $PM_{10}$  de taille comprise entre  $2.5 \mu\text{m}$  et  $10 \mu\text{m}$ . La station de Molenbeek-Saint-Jean (41R001) arrive en seconde position et s'approche des  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sans les dépasser. Les autres stations, quant à elles, respectent largement la valeur annuelle recommandée par l'OMS avec des concentrations de  $16.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ou moins. Remarquez que la station de Neder-Over-Heembeek disposait



de moins de 50% de saisie de données (bien en deçà des 85% requis) et qu'il n'est donc par possible de conclure sur la concentration moyenne annuelle mesurée à cette station; celle-ci est donnée à titre indicatif.



**Figure 4.1** – Concentrations moyennes annuelles de  $PM_{10}$  pour chaque station de la RBC en 2019 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. 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.

### 4.3.2 Moyennes journalières

Le nombre de jours de dépassement pour chaque station de mesure en 2019 de la valeur limite journalière ou de la valeur journalière recommandée par l'OMS de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (avec respectivement 35 jours ou 3 jours de dépassement autorisés) 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 seulement 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, celle-ci n'autorise que 3 dépassements par an et on peut voir que la station de Haren les dépasse largement. La station de Neder-Over-Heembeek excède également 3 dépassements par an, mais cette station ne disposant pas des 85% de données requis, il n'est pas possible de déterminer avec quelle ampleur. Les autres stations de mesure respectent de justesse la valeur de l'OMS avec exactement 3 dépassements, sauf la station d'Uccle (41R012) qui s'en écarte en ne présentant qu'un seul jour de dépassement des  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2019.

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.

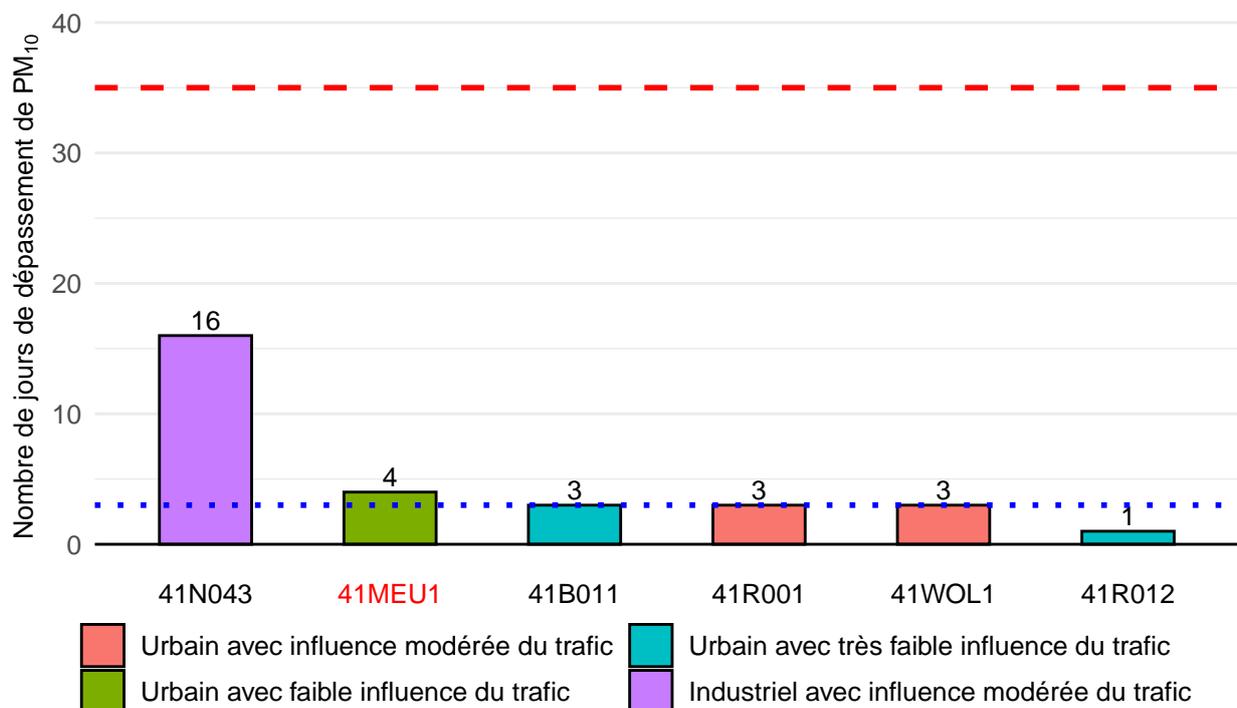
## 4.4 MESURES HISTORIQUES DE $PM_{10}$

Nous analysons dans cette section l'évolution des concentrations de particules fines  $PM_{10}$  durant les dix dernières années. De manière générale, les concentrations de particules fines sont en nette décroissance en RBC, en Belgique [IRCEL-CELINE, 2019] et dans le nord-ouest de l'Europe [EEA, 2019], 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  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{10}$  est respectée depuis plus de 10 ans (Figure 4.4) et la valeur limite journalière de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (à ne pas dépasser plus de 35 fois par an) depuis 2014 (Figure 4.7).

### 4.4.1 Moyennes annuelles

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. À part en 2011 où la station de Haren a approché la valeur limite annuelle (avec une concentration annuelle de  $39.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), le





**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 2019 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. 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 autorisés par l’OMS (3) est indiqué 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.

reste du temps, toutes les stations de mesure ont respecté celle-ci largement. En outre, cette amélioration continue des concentrations implique que de plus en plus de stations respectent la valeur annuelle recommandée par l’OMS de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.4.2 Moyennes journalières

Les Figures 4.6 et 4.7 représentent le nombre de jour de dépassement de la valeur limite journalière de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , pour chaque station de mesure individuelle et sous forme de boîtes à moustaches, respectivement. On observe sur ces figures, en particulier sur la première, qu’à part un dépassement ponctuel à la station de Molenbeek-Saint-Jean en 2011, c’est principalement la station de Haren qui empêchait 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 »).

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 à nouveau : en 2019, deux tiers des stations du réseau respectent la valeur journalière recommandée par l’OMS (Figure 4.2).

##### 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 cadre des permis d’environnement et n’étaient par conséquent soumises à aucune obligation ni contrôle



Concentrations moyennes journalières maximales de PM<sub>10</sub>

2019

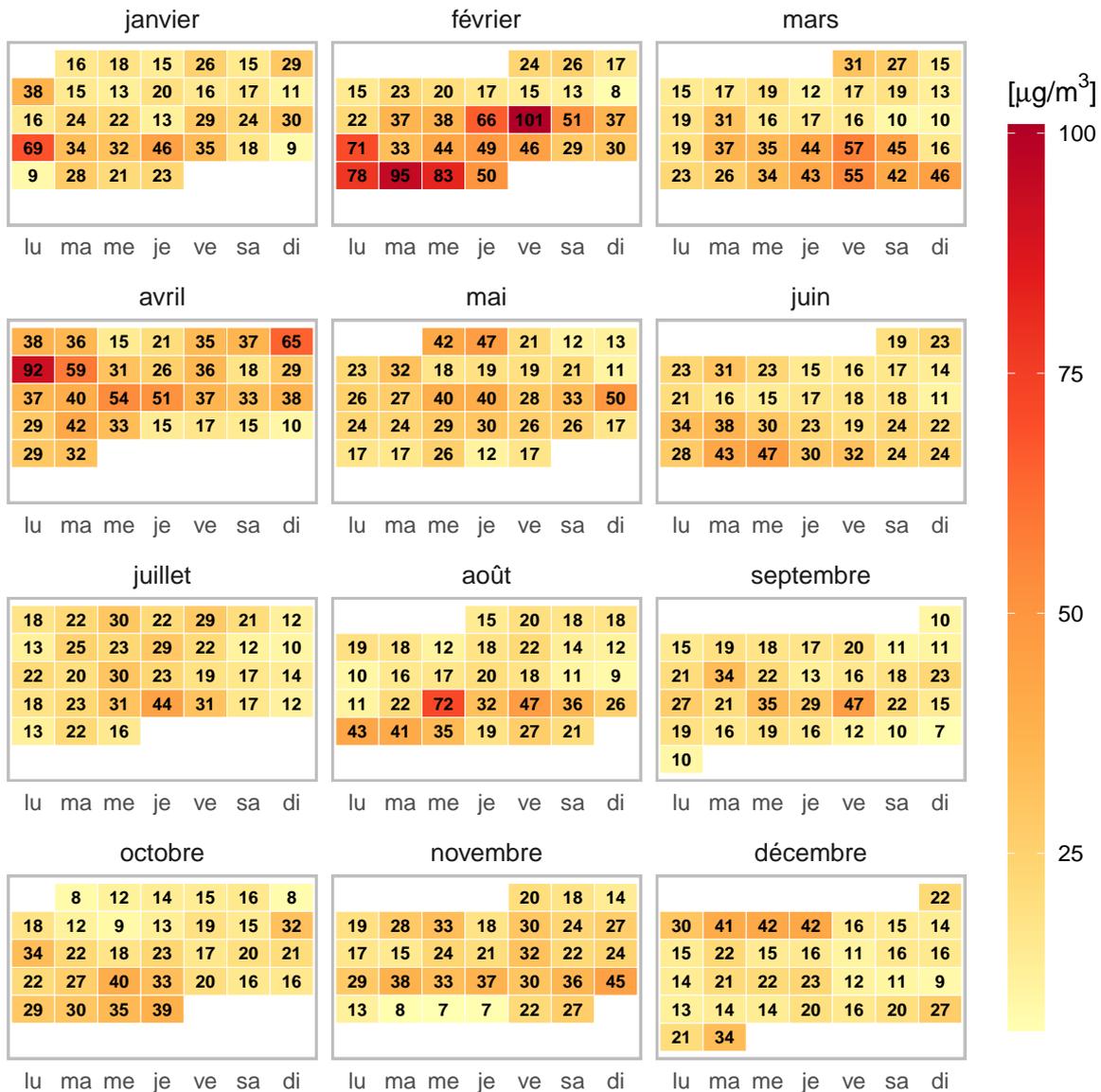
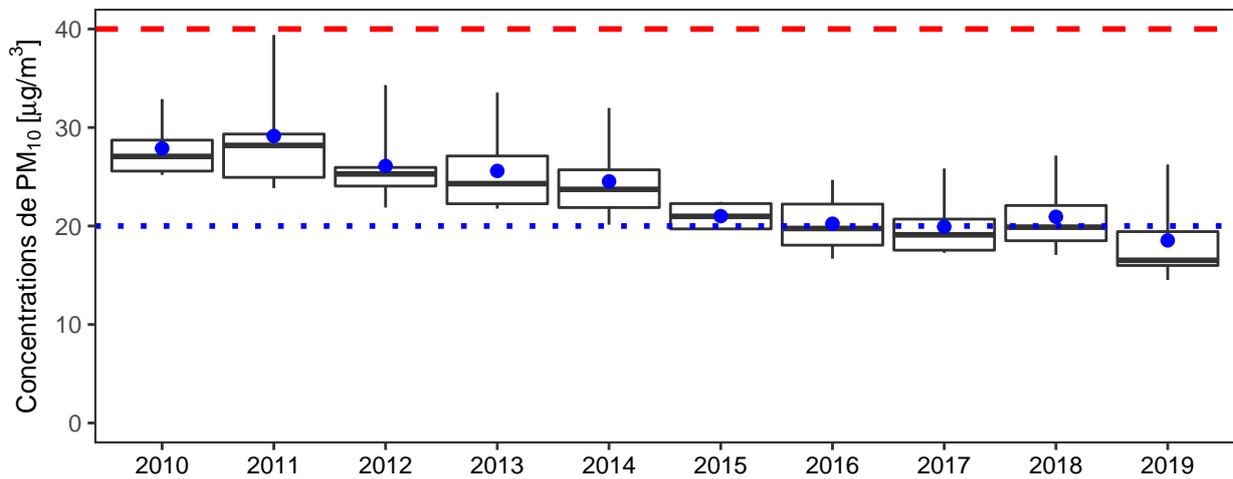


Figure 4.3 – Concentrations moyennes journalières maximales de PM<sub>10</sub> pour toutes les stations de la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>].

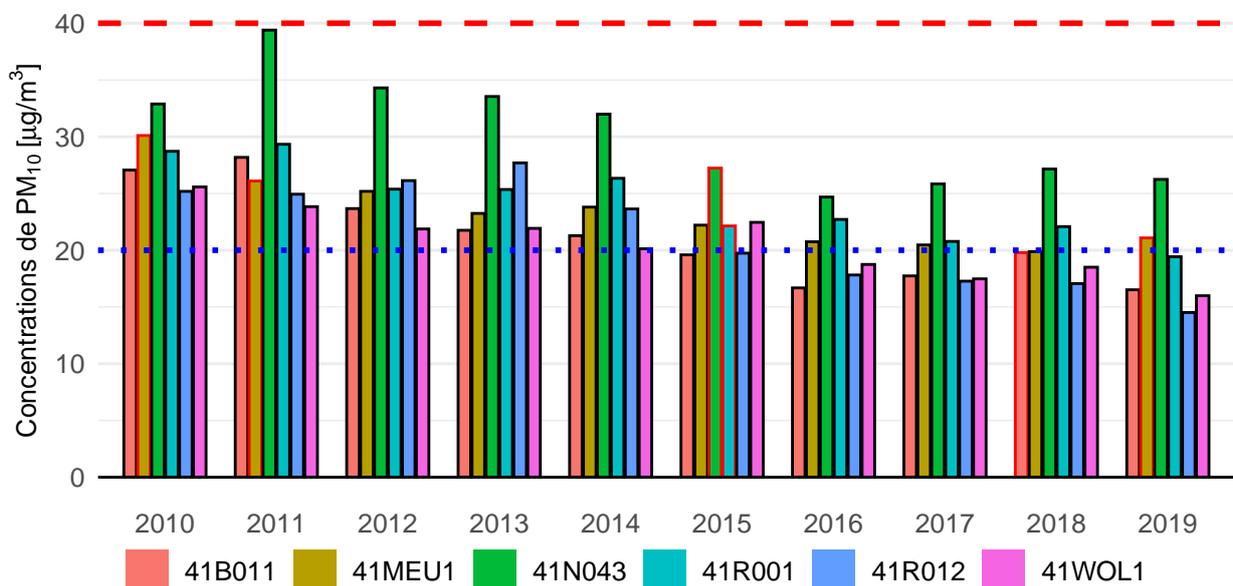
(pas d'instrument législatif contraignant).

Depuis la fin de l'année 2013, les sites et entreprises, dits prioritaires, ont alors été contactés en vue de les sensibiliser à la problématique des particules fines et afin d'évaluer avec eux les mesures à prendre pour limiter la remise en suspension de particules dans l'air. Il fallait en effet garder à l'esprit que l'imposition de nouvelles contraintes, qui impliquaient un coût non négligeable pour leur mise en oeuvre, s'exposait à un risque de recours. Le dialogue avec les entreprises était donc indispensable pour les sensibiliser à la problématique de la pollution de l'air et leur faire accepter la mise en place de mesures efficaces visant à réduire la remise en suspension des particules fines. Outre cette campagne de modification des permis d'environnement existants, une attention particulière a été portée aux nouvelles demande de permis d'environnement dans la zone de l'avant-port. Depuis 2014, toute nouvelle activité susceptible de générer ou de remettre des particules en suspension dans l'air est en effet soumise à des conditions d'exploitation strictes (accroissement de la hauteur des murs délimitant les zones de stockage, asphaltage et nettoyage régulier des routes internes à l'entreprise, humidification des dépôts et des accès, nettoyage des roues de camion, ...).





**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.

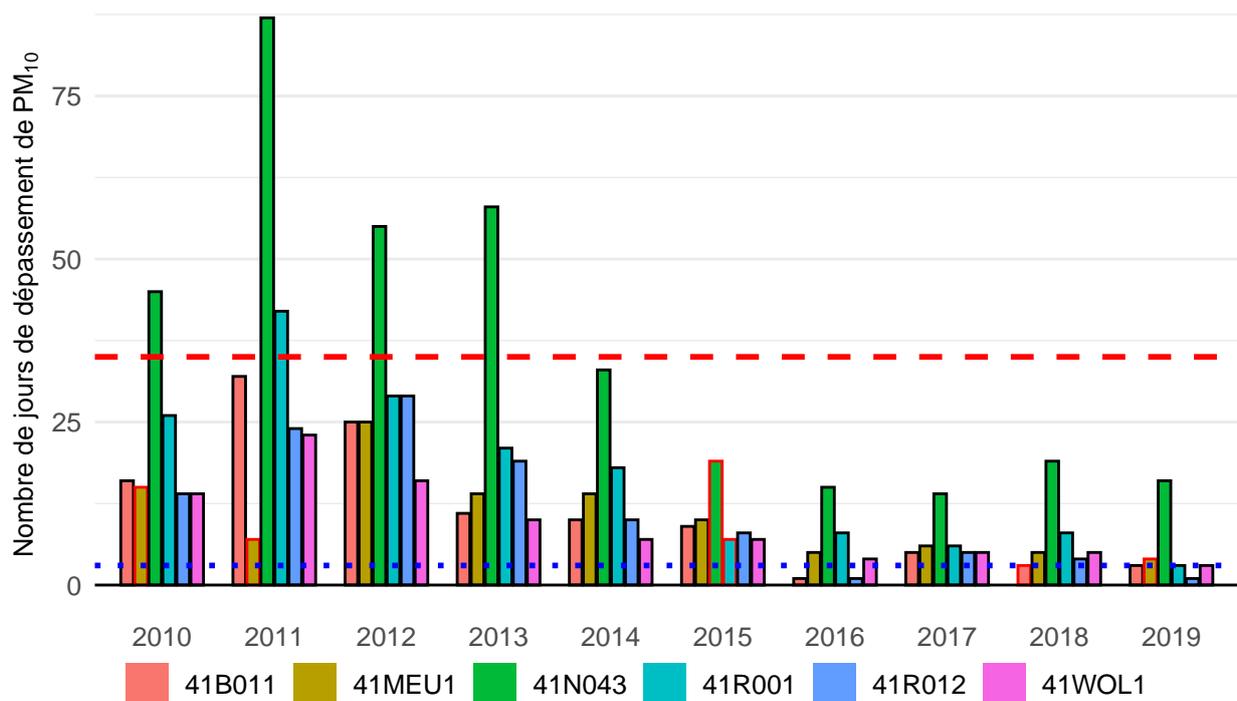
## 4.5 MESURES ACTUELLES DE $PM_{2.5}$

Dans cette section, nous analysons les concentrations de particules fines  $PM_{2.5}$  durant l’année 2019, en particulier vis-à-vis des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l’OMS. En 2019, la concentration annuelle en  $PM_{2.5}$  a diminué de 9% en moyenne par rapport à 2018. 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  $PM_{2.5}$ . La valeur annuelle recommandée par l’OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  n’a été respectée qu’à la station d’Uccle.

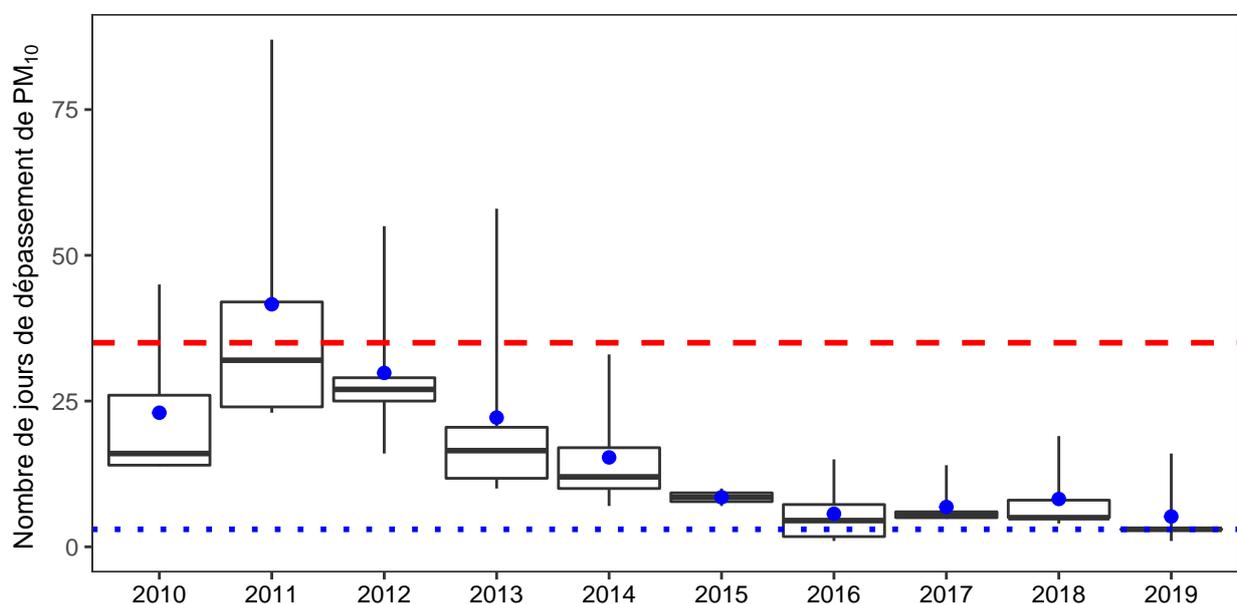
### 4.5.1 Moyennes annuelles

On peut voir sur la Figure 4.8 que la valeur limite annuelle européenne de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a été respectée largement dans toutes les stations de mesure en 2019, avec une moyenne annuelle maximale enregistrée à Haren (41N043) de  $14.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (la concentration annuelle mesurée à Neder-Over-Heembeek, 41MEU1, n’est qu’indicative car la station ne dispose pas des 85% de données nécessaires à son calcul). En ce qui concerne la valeur recommandée par l’OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (valeur extrêmement stricte), seule la station d’Uccle l’a respectée de justesse avec une concentration annuelle de  $9.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .





**Figure 4.6** – Nombre de jours de dépassement des concentrations de  $PM_{10}$  de la valeur limite journalière 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 nombre de jours de dépassement autorisés par l’OMS 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 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 limite journalière 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 nombre de jours de dépassement autorisés par l’OMS est indiqué par le trait pointillé bleu.

#### 4.5.2 Moyennes journalières

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  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à ne pas dépasser plus de 3 fois par an. Cette valeur est dépassée largement dans toutes les stations bruxelloises en 2019, y compris dans les stations urbaines de fond (Uccle -



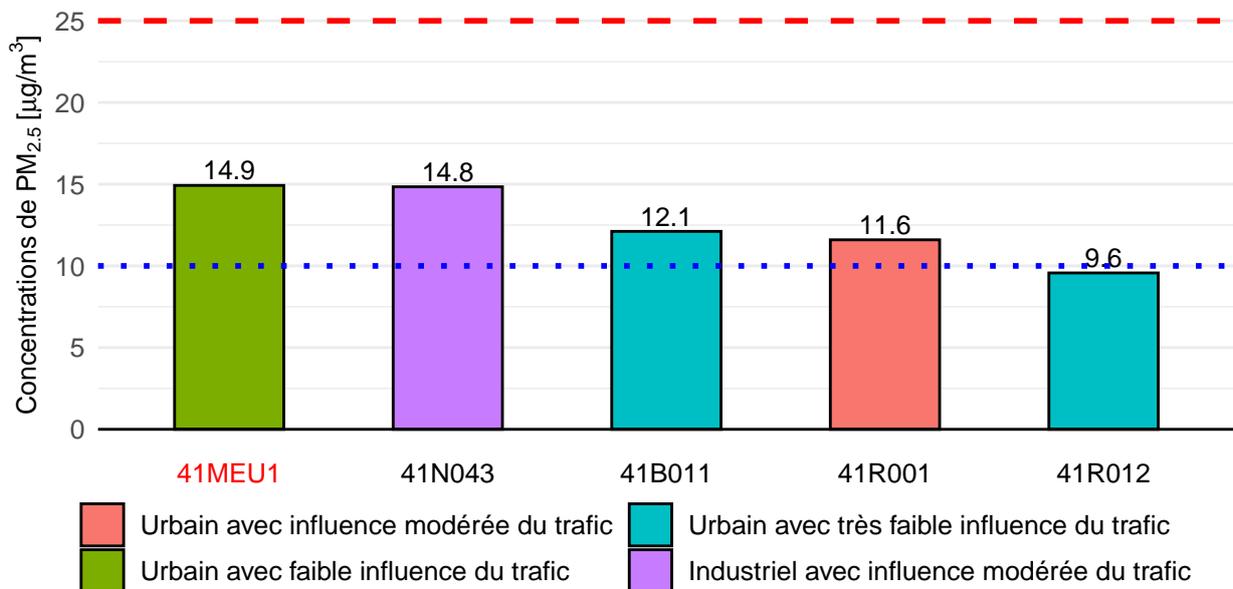


Figure 4.8 – Concentrations moyennes annuelles de  $PM_{2.5}$  pour chaque station de la RBC en 2019 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur annuelle recommandée par l’OMS est indiquée par le trait pointillé bleu. Les codes 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.

41R012, Berchem-Sainte-Agathe - 41B011, voir Figure 4.9). Remarquons qu’elle est dépassée également partout en Belgique, y compris dans les stations de fond rural (comme la station de Vielsalm) - soit les stations les moins exposées aux sources directes.

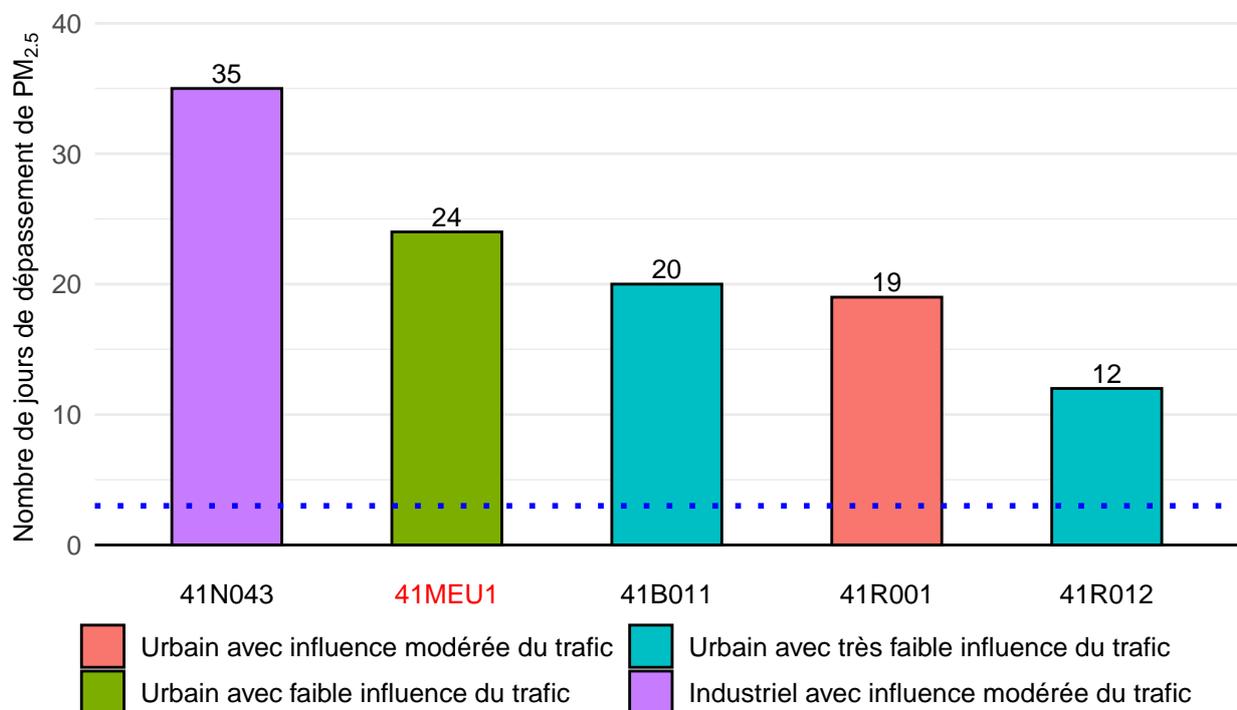


Figure 4.9 – Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l’OMS pour les  $PM_{2.5}$  de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour chaque station de la RBC en 2019. Le nombre de dépassements autorisés par l’OMS (3) est indiqué par le trait pointillé bleu. Les codes des stations sont 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.

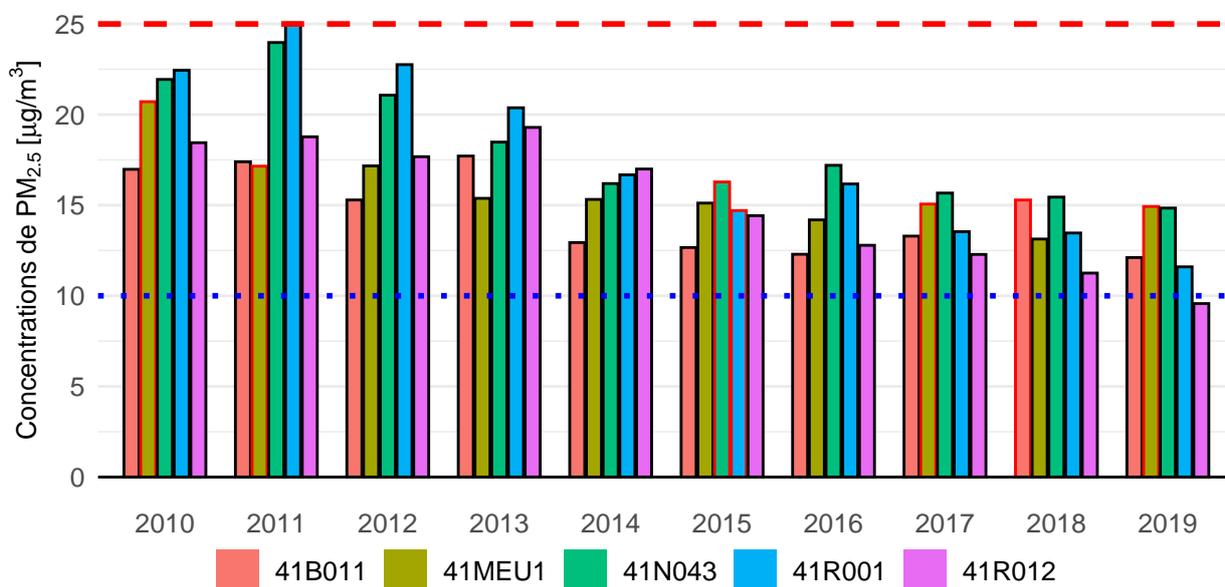


## 4.6 MESURES HISTORIQUES DE PM<sub>2,5</sub>

Nous analysons dans cette section l'évolution des concentrations de particules fines PM<sub>2,5</sub> durant les dix dernières années. De manière générale, les concentrations de particules fines sont en nette décroissance en RBC, en Belgique [IRCEL-CELINE, 2019] et dans le nord-ouest de l'Europe [EEA, 2019], en raison des mesures de diminution des émissions et des avancées technologiques (amélioration des filtres à particules sur les voitures notamment). À Bruxelles, la valeur limite annuelle européenne de 25 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub> est respectée depuis plus de dix ans, bien avant son entrée en vigueur en 2015.

### 4.6.1 Moyennes annuelles

On peut observer l'évolution des concentrations annuelles de PM<sub>2,5</sub> 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 µg/m<sup>3</sup> est respectée dans toutes les stations depuis plus de dix ans et en particulier depuis son entrée en vigueur en 2015. Seule la station de Molenbeek-Saint-Jean (41R001) l'a atteinte en 2011, sans la dépasser. On constate également sur ces figures l'amélioration notoire des concentrations de PM<sub>2,5</sub> 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 µg/m<sup>3</sup>, en 2019, celles-ci sont typiquement comprises entre 10 et 15 µg/m<sup>3</sup>. Néanmoins, en 2019, seule Uccle ne dépasse pas la valeur annuelle recommandée par l'OMS de 10 µg/m<sup>3</sup>.



**Figure 4.10** – Concentrations moyennes annuelles de PM<sub>2,5</sub> de toutes les stations pour la RBC [µg/m<sup>3</sup>]. 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.

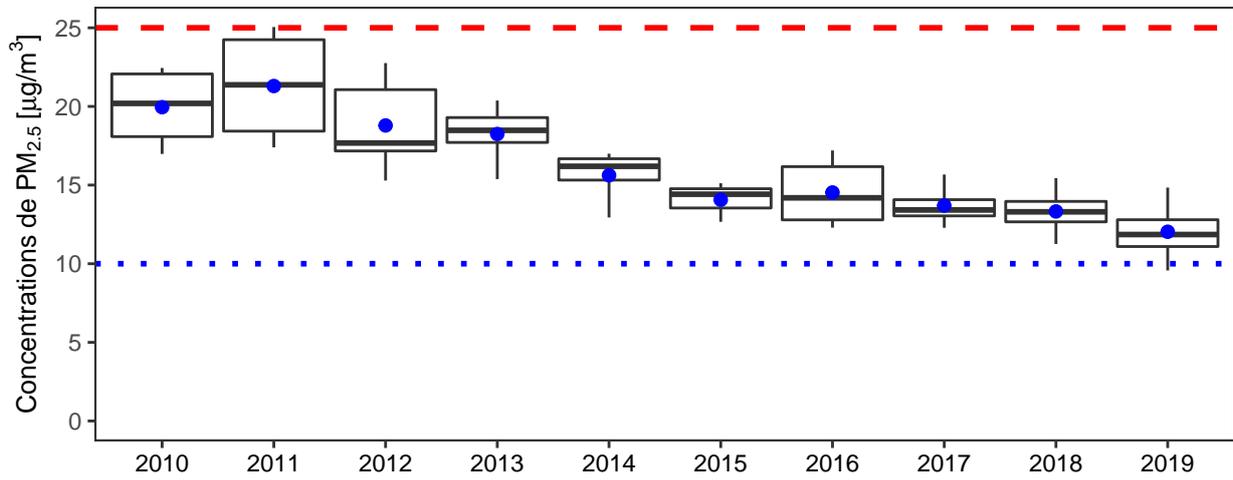
### 4.6.2 Moyennes journalières

Comme déjà mentionné au point 4.5.2, la Directive ne prévoit pas de valeur limite à court terme pour les PM<sub>2,5</sub>. Le nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l'OMS de 25 µg/m<sup>3</sup> 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 notoire des concentrations de PM<sub>2,5</sub> en moyenne journalière au cours du temps et la forte diminution du nombre de dépassements de la valeur de l'OMS, toutes les stations de mesure restent cependant encore très loin des 3 dépassements autorisés.

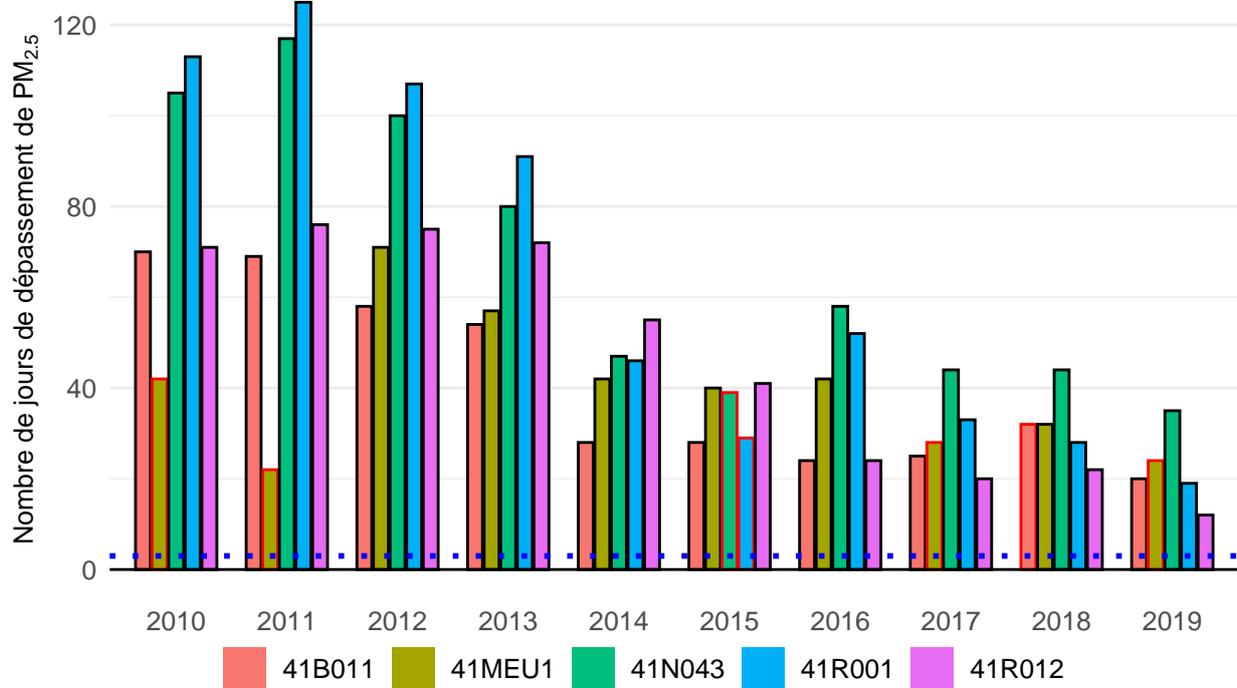
### 4.6.3 Indicateur d'exposition moyenne bruxellois

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



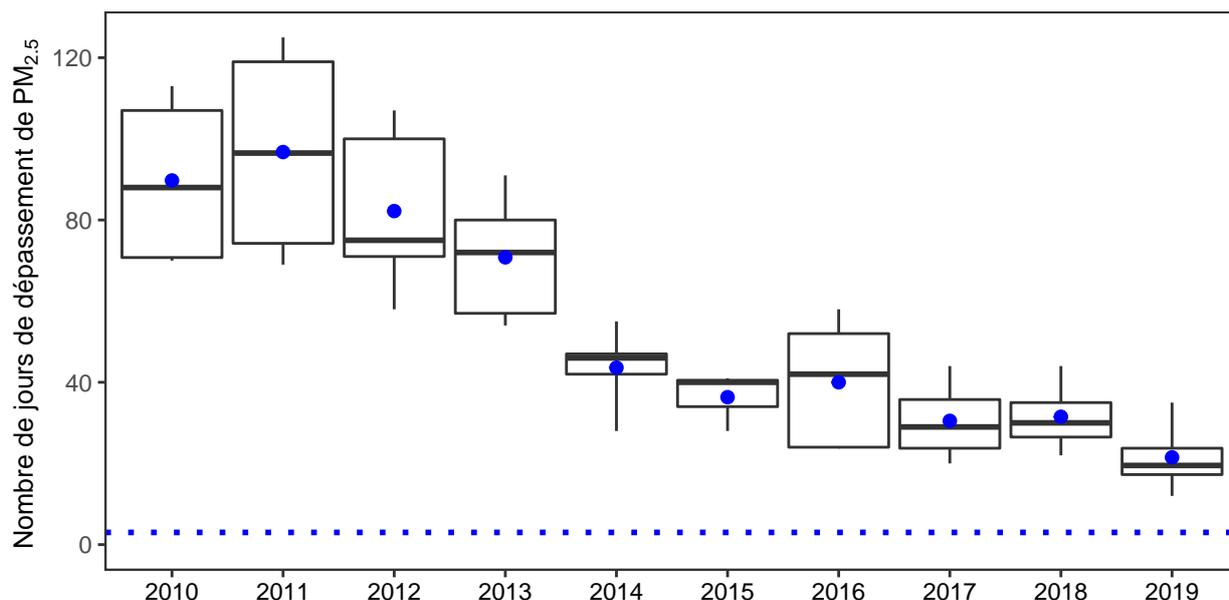


**Figure 4.11** – Concentrations moyennes annuelles de  $PM_{2.5}$  de toutes les stations pour la RBC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. La valeur limite annuelle européenne est indiquée par le trait pointillé rouge et la valeur recommandée par l’OMS est indiquée par le trait pointillé bleu.

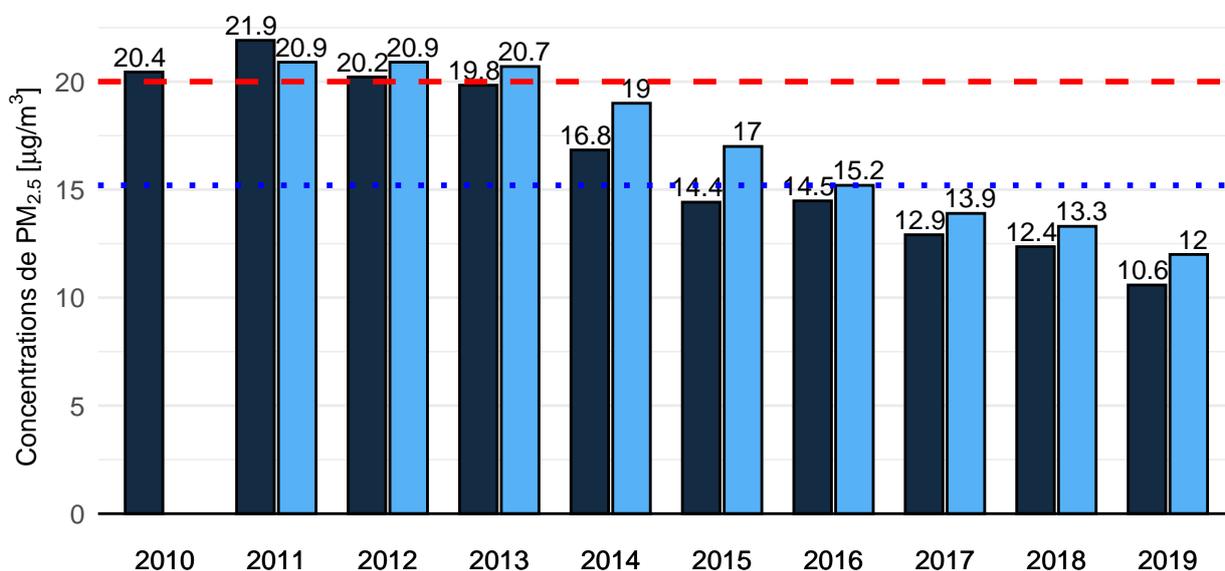


**Figure 4.12** – Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l’OMS pour les  $PM_{2.5}$  de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour chaque station de la RBC pour les dix dernières années. Le nombre de dépassements autorisés par l’OMS (3) est indiqué par le trait pointillé bleu. 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.

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 pour l’exposition de la population aux particules  $PM_{2.5}$ .



**Figure 4.13** – Nombre de jours de dépassement de la valeur journalière recommandée par l’OMS pour les PM<sub>2.5</sub> de 25 µg/m<sup>3</sup> pour toutes les stations de la RBC pour les dix dernières années [µg/m<sup>3</sup>]. Le nombre de dépassements autorisés par l’OMS (3) est indiqué par le trait pointillé bleu. Les années sont indiquées en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n’est pas respectée.



**Figure 4.14** – Concentrations moyennes annuelles de PM<sub>2.5</sub> en moyenne sur les stations d’Uccle et de Molenbeek-Saint-Jean [µg/m<sup>3</sup>] (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  $\text{NO}_x$  n'aura pas d'influence significative.
- D'autre part, les émissions de  $\text{NO}_x$  dues à la combustion dans les moteurs des véhicules produisent du NO qui contribue à consommer l' $\text{O}_3$  (réaction (5.3)). Ce dernier effet est local, relativement rapide (échelle horaire) et intervient hors équilibre  $\text{NO}_x$  (c'est-à-dire que le ratio  $[\text{NO}]/[\text{NO}_2]$  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' $\text{O}_3$  par l'effet du NO originare 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  $\text{NO}_x$  » (*high  $\text{NO}_x$* ) urbain, réduire les concentrations de COV en milieu rural n'aura aucun effet sur la concentration en  $\text{O}_3$ . Par contre, une réduction des concentrations en  $\text{NO}_x$  (via des mesures globales sur les émissions, puisque le  $\text{NO}_2$  a un temps de vie long dans l'atmosphère) aura une influence directe sur la concentration en  $\text{O}_3$  puisque la réaction (5.4), étape limitante de la chaîne d'oxydation des COV en cas de régime saturé en  $\text{NO}_x$ , 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  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . 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  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mais la date à laquelle cet objectif doit être atteint n'a pas encore été fixée.

Enfin, la valeur recommandée par l'OMS pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures est quant à elle de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , à ne pas dépasser du tout sur une année.

À côté de cet indicateur pour 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  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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 au chapitre 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 2019, en particulier vis-à-vis des valeurs limites européennes et des valeurs recommandées par l'OMS. En 2019, la concentration annuelle en ozone a augmenté de 6% en moyenne par rapport à 2018. Toutes les stations de mesures ont respecté la valeur cible européenne pour la protection de la santé humaine (Figure 5.2) à l'exception de la station de Neder-Over-Heembeek (41MEU1). La valeur recommandée par l'OMS (n'imposant *aucun* dépassement) n'a été respectée nulle part en Région de Bruxelles-Capitale (RBC). Parmi les stations rapportées à la Commission Européenne, les concentrations les plus élevées en ozone ont été observées aux stations les moins exposées au trafic routier



(et donc aux oxydes d'azote), comme on pouvait s'y attendre, soit les stations d'Uccle (41R012) et de Berchem-Sainte-Agathe (41B011).

### 5.3.1 Concentration 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 2019, les concentrations moyennes annuelles les plus élevées (proches de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ont été enregistrées aux stations d'Uccle et de Berchem-Sainte-Agathe. 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 chapitre 5.1). Les stations de Molenbeek-Saint-Jean (41R001) et Woluwe-Saint-Lambert (41WOL1), stations avec influence modérée du trafic routier, présentes quant à elles des concentrations annuelles plus basses qu'aux stations de fond urbain (proches de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La station de Haren (41N043), d'environnement industriel avec influence modérée du trafic, présente quant à elles une concentration annuelle d'ozone encore inférieure ( $37.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), car le trafic avoisinant est constitué principalement de camions, forts émetteurs d'oxydes d'azote. La station de Sainte-Catherine (41B004), station urbaine avec influence modérée du trafic, affiche une concentration d'ozone comparable à la station de Haren ( $36.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Tout comme à la station de Haren, un effet local des sources explique très probablement la concentration annuelle à cette station. Enfin, la station de Neder-Over-Heembeek ne dispose pas de la saisie minimale de données requise pour 2019 et il n'est donc pas possible de conclure valablement sur la concentration annuelle observée; celle-ci est seulement présentée à titre indicatif.

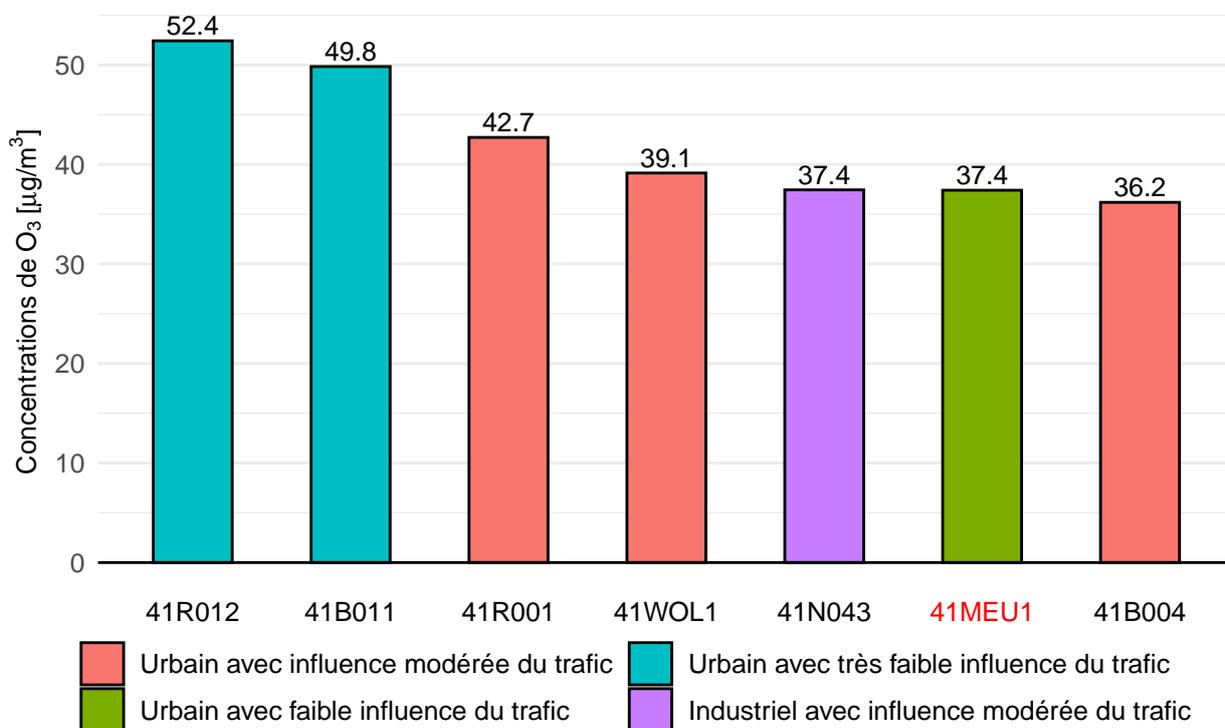


Figure 5.1 – Concentrations moyennes annuelles de O<sub>3</sub> pour chaque station de la RBC en 2019 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

### 5.3.2 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 2019 ainsi qu'en moyenne sur les trois dernières années (2017-2018-2019). On peut directement constater qu'en moyenne sur trois ans, la valeur cible n'est dépassée qu'à la station de Neder-Over-Heembeek (avec 27 dépassements, bâtonnets de droite); toutes les autres stations ayant enregistré moins de 25 jours de dépassement. Cependant, ce dépassement doit être mitigé, en effet :

- la station de Neder-Over-Heembeek ne disposait pas encore de moniteur de mesure de l'ozone en 2017, il n'y a donc pas de valeur pour cette année,

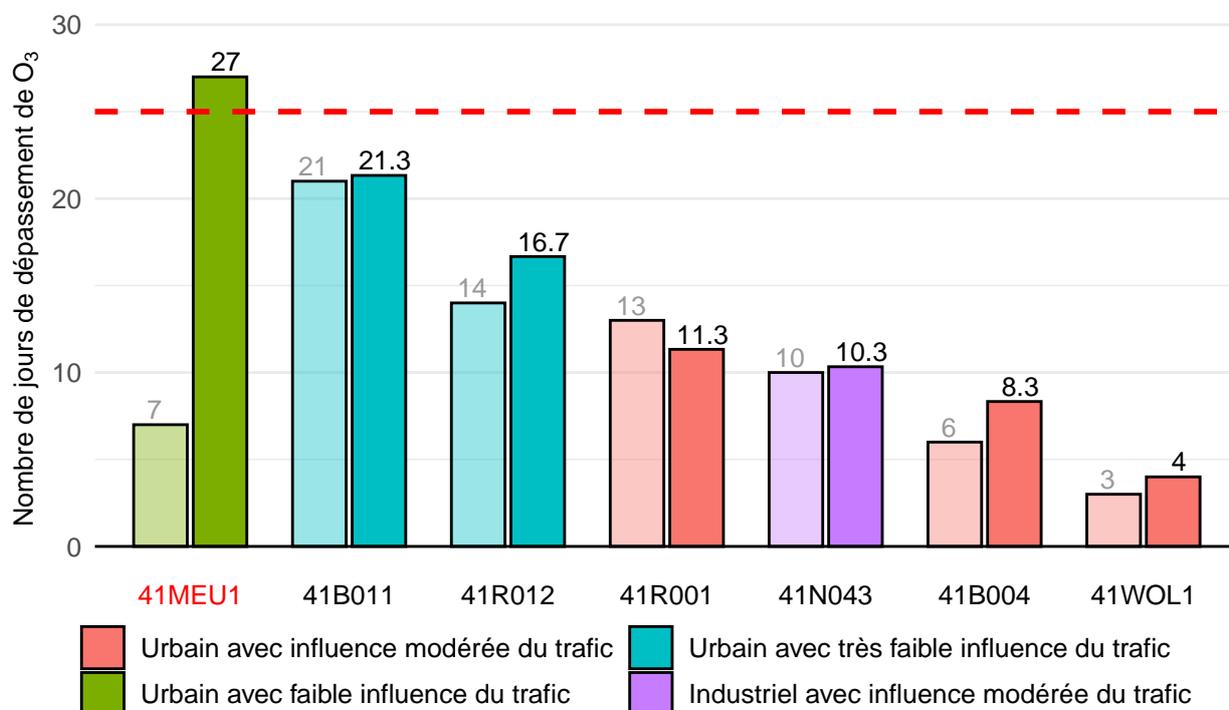


- la station de Neder-Over-Heembeek a enregistré 27 dépassements en 2018<sup>1</sup>, année ayant connu un été caniculaire,
- la station de Neder-Over-Heembeek n'a enregistré que 7 dépassements en 2019 mais n'a pas atteint la proportion de données valides requise, cette valeur n'est donc pas prise en compte.

La Directive et l'IPR prévoient en outre que la moyenne sur trois ans soit calculée dès qu'une année est disponible. En pratique, cela signifie que la moyenne sur trois ans en 2019 n'est calculée que sur base de la valeur en 2018, et que la station de Neder-Over-Heembeek, au sens strict, dépasse donc la valeur cible pour l'ozone en 2019.

Les nombres de jours de dépassement spécifiques pour l'année 2019, sont également indiquées par les bâtonnets de gauche. À nouveau, les stations les moins exposées au trafic routier, Uccle et Berchem-Sainte-Agathe, présentent les valeurs les plus élevées, alors que Woluwe-Saint-Lambert présente le moins de jours de dépassement. La station de Neder-Over-Heembeek ne disposait pas de la saisie minimale de données requise en 2019; la valeur est donc présentée à titre indicatif.

*A contrario*, la valeur recommandée par l'OMS (*aucun* dépassement du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures du seuil de 100 µg/m<sup>3</sup>) n'est respectée à aucune station de mesure de la RBC puisqu'au moins un dépassement de la valeur cible (120 µg/m<sup>3</sup>) est enregistré à chaque station. À titre de comparaison, la valeur recommandée par l'OMS n'a été respectée nulle part en Belgique en 2018 - cette valeur est extrêmement stricte.



**Figure 5.2** – Nombre de jours de dépassement de la valeur cible de 120 µg/m<sup>3</sup> pour le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 heures de O<sub>3</sub> (NET60) pour chaque station de la RBC en 2019 (la valeur de droite représente la moyenne sur les 3 dernières années (2017-2018-2019), tandis que la valeur de gauche désigne la valeur pour l'année 2019). 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.

### 5.3.3 Maximum horaire par jour

On peut observer sur la Figure 5.3, les concentrations horaires maximales atteintes durant chaque jour de l'année 2019, afin de les comparer aux seuils d'information et d'alerte européens de 180 µg/m<sup>3</sup> et 240 µg/m<sup>3</sup>, respectivement. On peut constater qu'en 2019, le seuil d'information a été dépassé pendant trois jours, du 25 au 27 juillet. Ces maxima ont été enregistrés aux stations de Neder-Over-Heembeek et de Berchem-Sainte-Agathe. Le seuil d'alerte n'a quant à lui pas été dépassé. L'intensité des pics d'ozone (arrivant usuellement pendant l'été) est

<sup>1</sup>Cette station n'a pas atteint la proportion de données valides requise, de justesse en 2018, mais comme elle enregistre déjà un dépassement, celui-ci est pris en compte - voir Annexe A.1.



directement lié aux conditions météorologiques durant la période chaude, soit spécifiquement l'ensoleillement et l'intensité de la dispersion (vitesse du vent); voir chapitre 5.1.

### Concentrations maximales horaires par jour de O<sub>3</sub>

2019

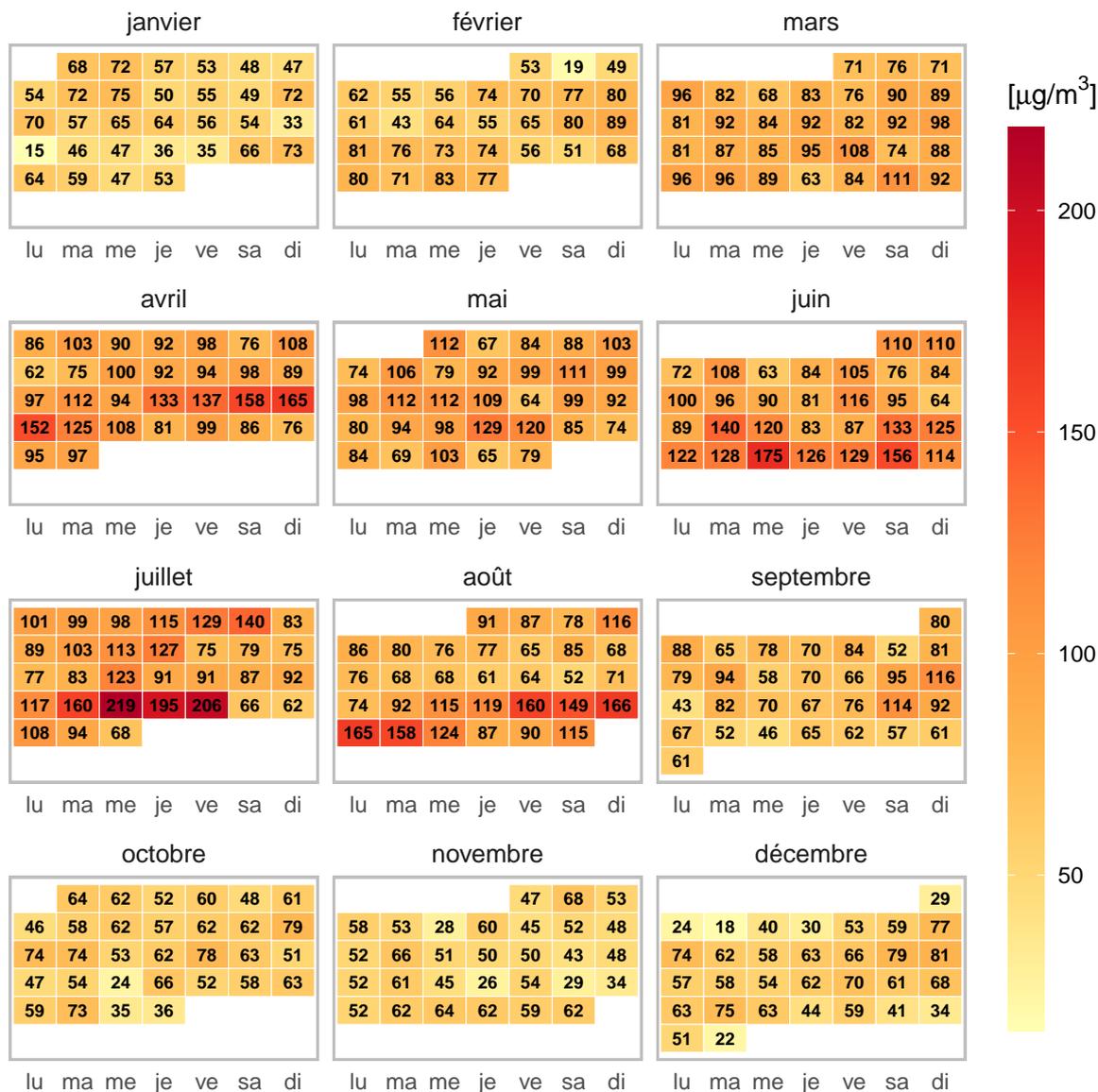


Figure 5.3 – Concentrations journalières maximales de O<sub>3</sub> pour la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>].

## 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, 2019] et de l'Europe [EEA, 2019], est attribuable 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 Concentration moyenne annuelle

L'évolution des concentrations annuelles sur les dix dernières années est présentée sur la Figure 5.4. On peut voir que la moyenne (des concentrations moyennes annuelles) présente bien une lente tendance à la hausse malgré des fluctuations d'année en année - ce phénomène sera encore mis en exergue au chapitre 5.4.3. Depuis 2010, les maxima des concentrations annuelles sont logiquement toujours atteints aux stations d'Uccle ou de Berchem-Sainte-Agathe, soit les stations les moins exposées au trafic routier. Les minima sont quant à eux atteints aux



stations les plus exposées, soit généralement la station de Haren, exposée à beaucoup de motorisations diesel, mais aussi parfois la station de Sainte-Catherine (possiblement pour la même raison) ou la station de Woluwe-Saint-Lambert, dont l'exposition aux oxydes d'azote en provenance de l'entrée de l'autoroute E40 varie très fortement en fonction de la direction du vent.

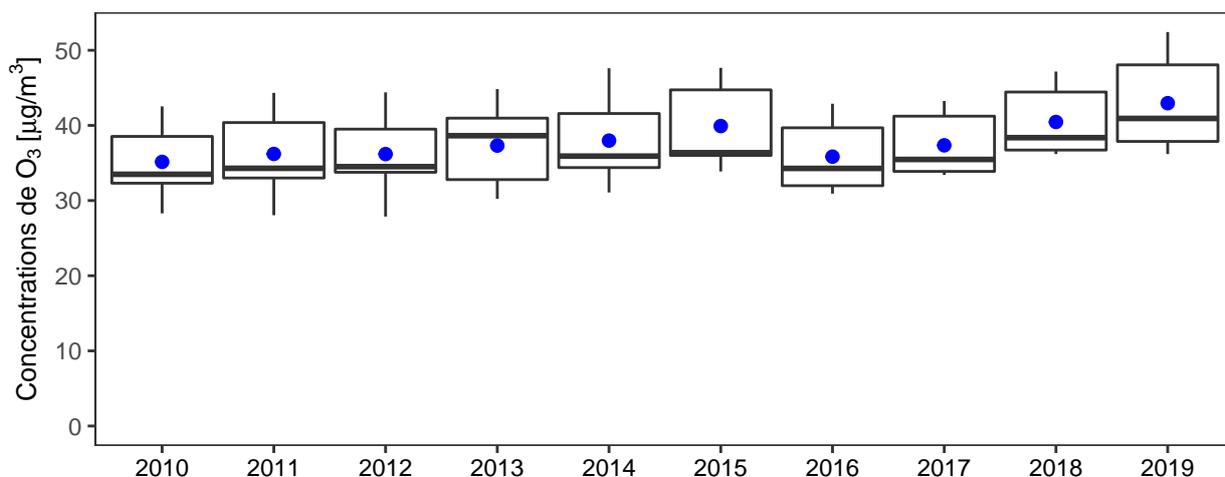


Figure 5.4 – Concentrations moyennes annuelles de O<sub>3</sub> de toutes les stations pour la RBC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

#### 5.4.2 NET60

L'évolution du NET60 est présentée sur la Figure 5.5. 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  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ont été enregistrés en 2018. Le nombre de jours de dépassement moyenné sur 3 ans (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 années car les valeurs pour les années 2017 et 2019 étaient indisponibles (voir 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).

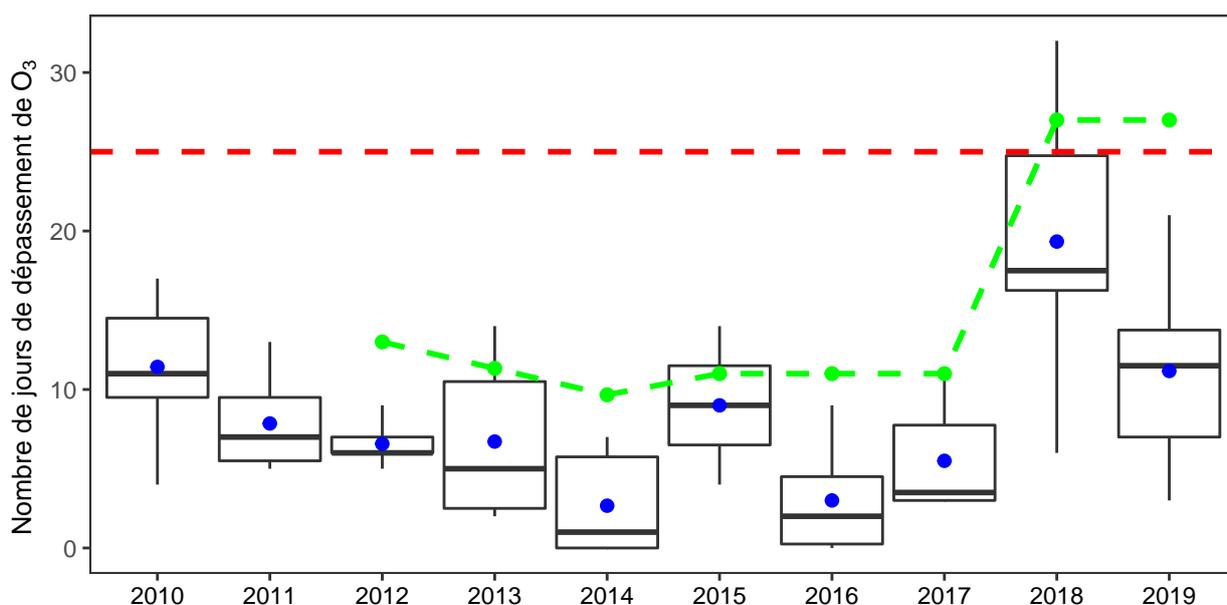


Figure 5.5 – Nombre de jours de dépassement de la valeur cible de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le maximum journalier des moyennes glissantes sur 8 heures de O<sub>3</sub> (NET60) pour toutes les stations de la RBC. Le maximum de jours autorisés par an, en moyenne sur trois ans, par la Directive 2008/50/CE est indiqué par le trait pointillé rouge. Le trait vert indique la moyenne glissante sur trois ans du maximum du NET60.



### 5.4.3 Evolution des centiles

La Figure 5.6 présente la différence entre les centiles (10%, 50%, 90%, 95%, 99% et 99.9%) calculés pour chaque station de la RBC pour la période 2010-2019 et la période 2000-2009 [IRCEL-CELINE, 2019]. 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 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,
- des fluctuations des conditions météorologiques (toutes deux bénéfiques par rapport à la diminution des pics d’ozone), et
- du transport hémisphérique de polluants précurseurs (contribuant à l’augmentation des concentrations de fond d’ozone).

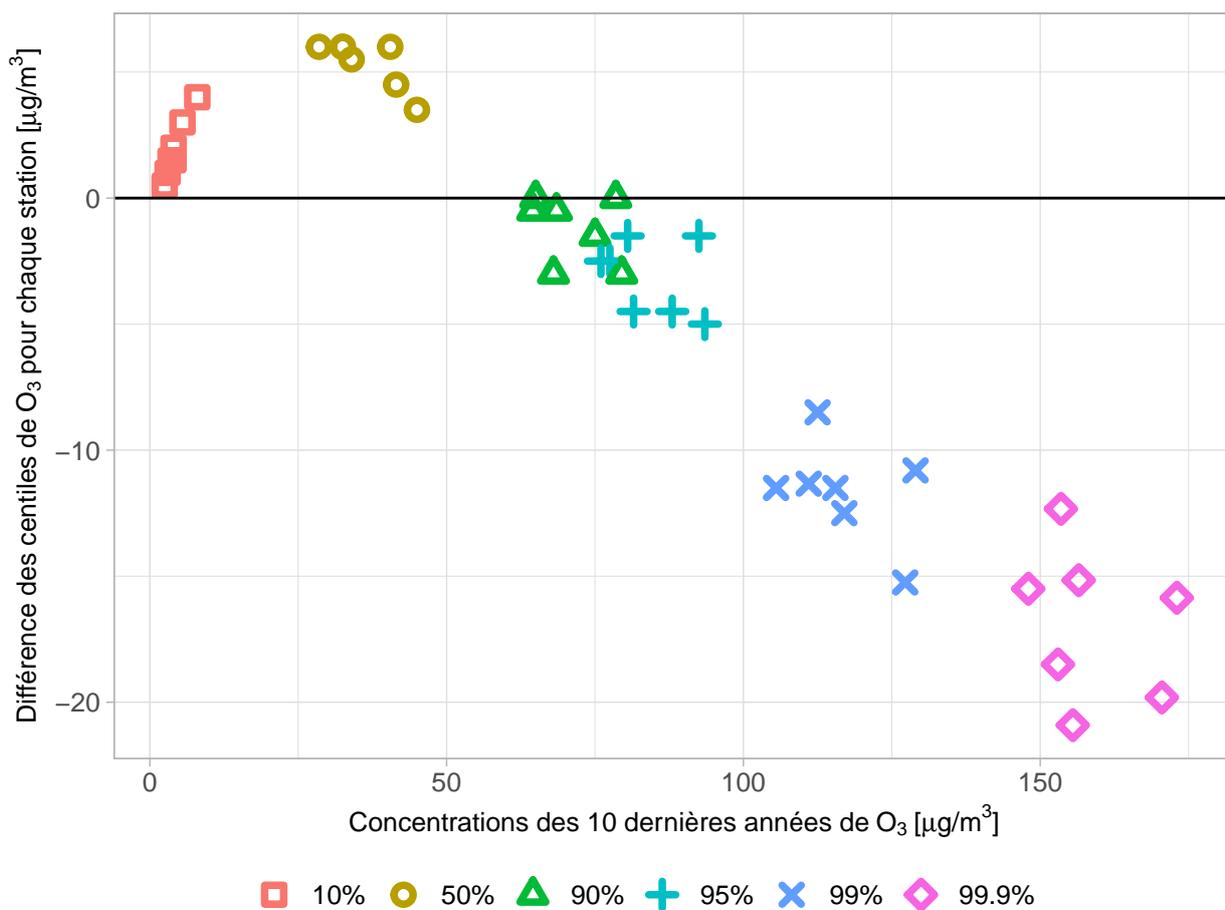


Figure 5.6 – Différence des centiles des concentrations horaires de O<sub>3</sub> pour les stations de la RBC sur les 10 dernières années (2010-2019), par rapport à la période 2000-2009.



## 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<sub>2,5</sub>, interviennent dans la formation de particules secondaires et participent également à l'acidification et à l'eutrophisation des sols.

Dans le contexte urbain, le *black carbon* (BC) ou « carbone suie » constitue une sous-classification des particules fines dont la pertinence est remarquable. 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 ce composé est exceptionnel en ce sens que la méthode de mesure (par absorption de lumière) intervient dans sa définition, ce qui n'est généralement pas le cas pour les autres polluants (NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, 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<sub>2,5</sub> (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<sub>x</sub> (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<sub>x</sub> 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.

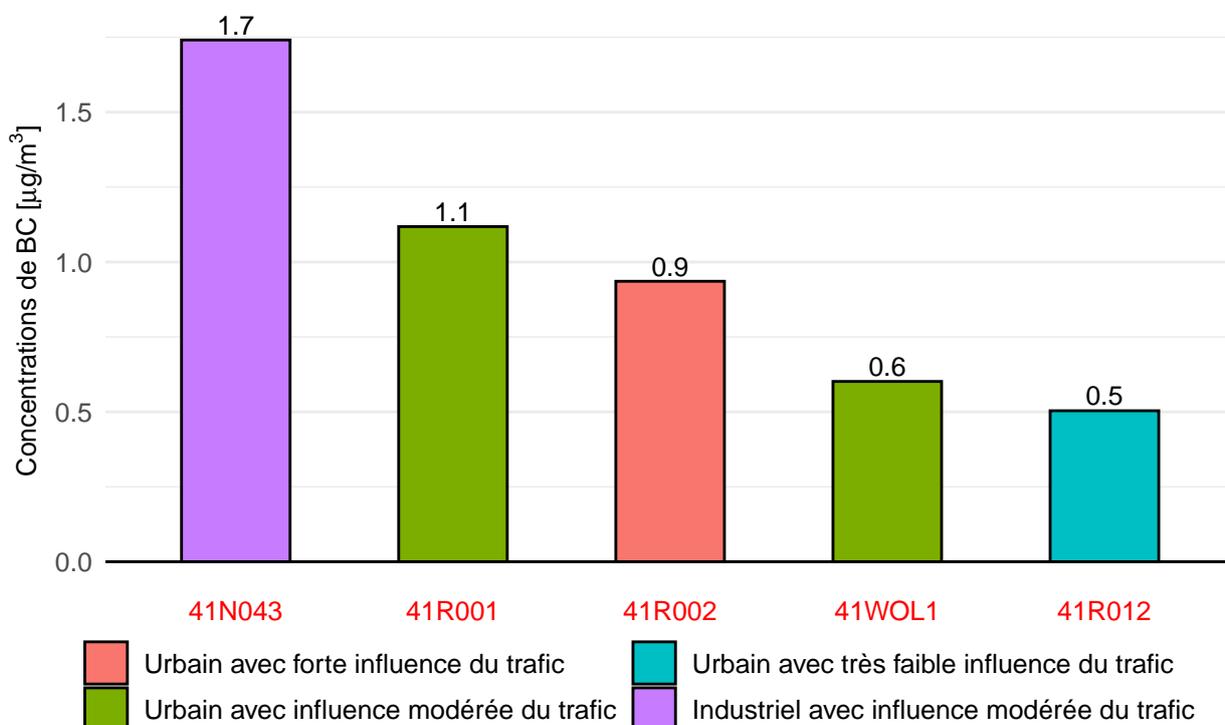


Il faut préciser que le black carbon n'est pas régulé par les directives européennes et que l'OMS ne fournit pas de valeur recommandée pour ce polluant. Sa mesure est pourtant répandue en Europe et est réalisée par intérêt scientifique et épidémiologique.

## 6.2 MESURES ACTUELLES

Les concentrations annuelles de BC sont présentées sur la Figure 6.1. Attention, en 2019, suite à un problème technique d'acquisition des données durant les premiers mois de l'année, aucune station n'a atteint le pourcentage de 85% de données horaires validées sur l'année.

Avec 79% de saisie annuelle de données, il est probable que la concentration mesurée à la station de Haren (41N43) soit néanmoins représentative. Le fait qu'elle enregistre la concentration annuelle la plus élevée est logique : il s'agit d'un environnement industriel avec présence de nombreux camions (motorisations diesel) qui sont des émetteurs importants de black carbon. *A contrario*, le fait que la station d'Ixelles (41R002) affiche une concentration de 0.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , comparable à celle de Molenbeek-Saint-Jean (41R001), alors que le trafic à Ixelles est normalement plus intense, est probablement lié à la faible proportion de données valides à Ixelles (58.9%) : on s'attendrait *a priori* à ce que la moyenne annuelle à Ixelles soit la seconde concentration annuelle maximale. Il est cependant possible que la concentration enregistrée à Ixelles soit liée à la diminution du trafic avenue de la Couronne, liée aux travaux du boulevard Général Jacques situé à proximité. Les concentrations enregistrées à Uccle (41R012, très faiblement influencée par le trafic routier) et Woluwe-Saint-Lambert (41WOL1, modérément influencée par le trafic routier - mais cette influence est fortement liée à la direction du vent) semblent cohérentes.



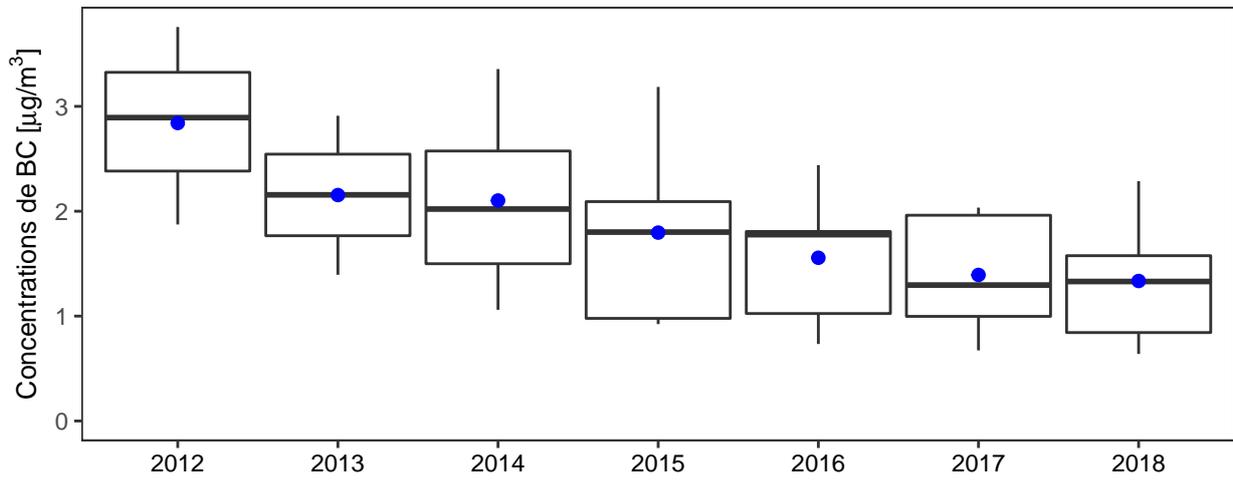
**Figure 6.1** – Concentrations moyennes annuelles de BC pour chaque station de la RBC en 2019 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. Les codes des stations sont indiqués en rouge lorsque la saisie minimale de données de 85% n'est pas respectée. La correspondance des codes des stations est fournie dans la Table 2.1.

## 6.3 MESURES HISTORIQUES

Les Figures 6.2 et 6.3 montrent l'évolution des concentrations annuelles de black carbon pour toutes les stations du réseau, depuis 2010 (ou 2012 pour les boîtes à moustaches, car il y avait jusqu'alors trop peu de stations dans le réseau). 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.

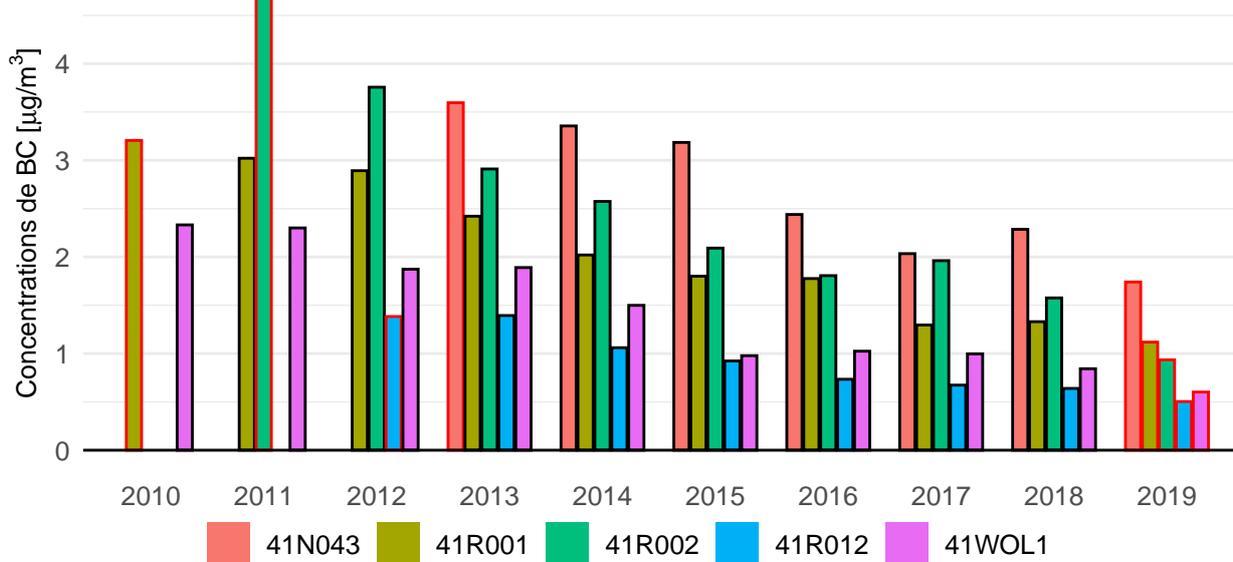
Sur la Figure 6.3, on observe l'ouverture progressive des stations de mesure du black carbon depuis 2010. Le réseau de mesure du black carbon (5 stations) était entièrement installé en 2013. On observe également la décroissance des concentrations de black carbon entre 2010 et 2019 (présentée à titre indicatif car moins de 85%





**Figure 6.2** – Concentrations moyennes annuelles de BC de toutes les stations pour la RBC [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]. L'année 2019 n'est pas présentée car les saisies de données sont inférieures à 85% (voir section 6.2).

des données étaient disponibles durant cette année). Cette décroissance est visible pour toutes les stations et donc pour tous les types d'environnement 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 ( $\text{SO}_2$ ) 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  $\text{SO}_2$ .

Les principales sources de  $\text{SO}_2$ , 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  $\text{SO}_2$  à Bruxelles est majoritairement le chauffage des bâtiments (90% du total des émissions en RBC en 2018 [Bruxelles Environnement, 2020]). Le trafic automobile (1% du total des émissions) ne contribue quant à lui quasiment plus aux émissions de  $\text{SO}_2$ .

Actuellement, les concentrations de  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  continuent à décroître d'année en année.

Le  $\text{SO}_2$  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  $\text{SO}_2$  est en outre un polluant acidifiant pour les écosystèmes naturels, pouvant se déposer par déposition sèche directement ou après transformation en sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Il peut également contribuer à la formation d'acide sulfurique  $\text{H}_2\text{SO}_4$  et se déposer par déposition humide (par le biais des précipitations).

En outre, après transformation en sulfate, le  $\text{SO}_2$  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  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'OMS prévoit quant à elle également deux valeurs recommandées :

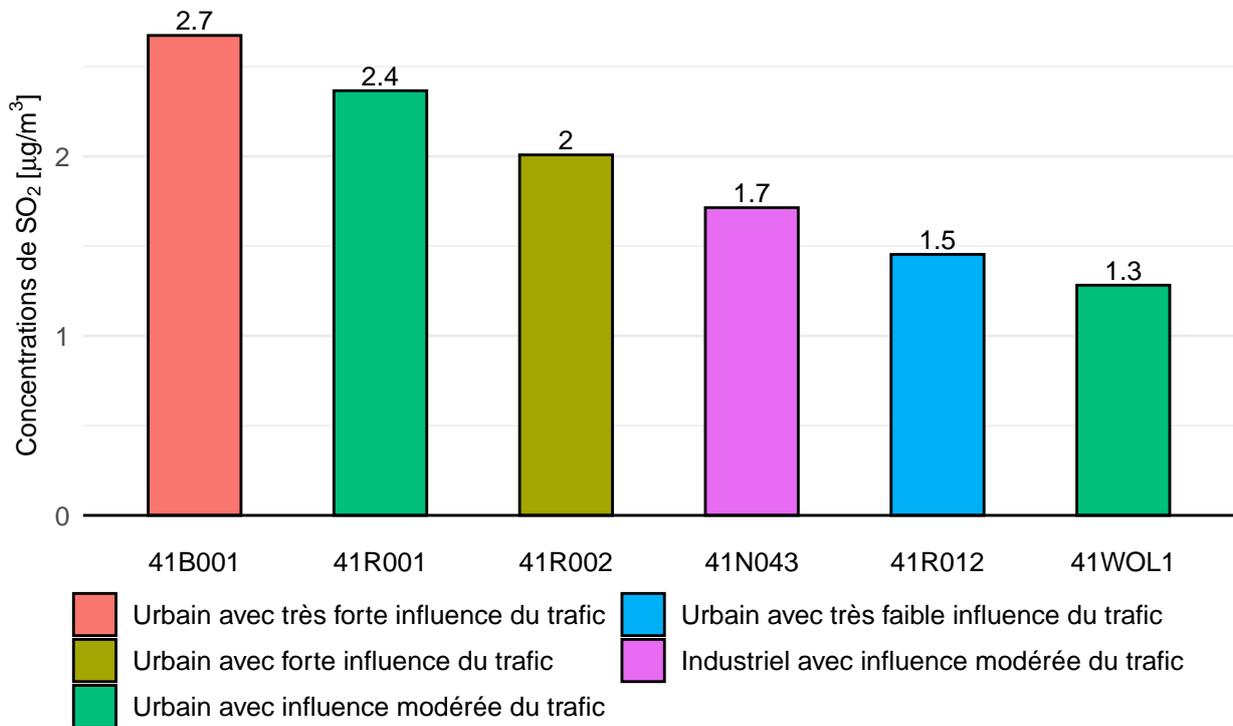
- une valeur journalière de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,
- une valeur sur 10 minutes de  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 7.3 MESURES ACTUELLES

Comme les normes européennes pour le  $\text{SO}_2$  sont largement respectées, nous analysons celles-ci durant les dix dernières années dans la section 7.4 et nous présentons dans ce chapitre uniquement les concentrations moyennes annuelles pour 2019.

La lecture de cette figure doit se faire avec précaution. En effet, les concentrations de  $\text{SO}_2$  mesurées étant *extrêmement* basses, l'erreur relative sur celles-ci est proportionnellement élevée. Ainsi, il semble difficile de





**Figure 7.1** – Concentrations moyennes annuelles de SO<sub>2</sub> pour chaque station de la RBC en 2019 [µg/m<sup>3</sup>]. 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.

conclure sur l'origine des sources alors que les concentrations sont très faibles et toutes comprises entre 1 et 3 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle. Les concentrations annuelles les plus élevées sont mesurées à la station d'Arts-Loi (41B001). Les stations de Molenbeek-Saint-Jean (41R001), Ixelles (41R002) et Haren (41N043), moins exposées, présentent quant à elles des concentrations de l'ordre de 2 µg/m<sup>3</sup>. Enfin les stations d'Uccle (41R012) et de Woluwe-Saint-Lambert (41WOL1) enregistrent quant à elles les concentrations annuelles les plus faibles.

## 7.4 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.

### 7.4.1 Concentrations annuelles

Les concentrations annuelles continuent de suivre la tendance à la décroissance (observée depuis l'existence du réseau de mesure) ces dix dernières années comme on peut le voir sur la Figure 7.2, malgré un rebond léger en 2018. Les concentrations moyennes en RBC en 2010 étaient déjà très faibles (autour de 4 µg/m<sup>3</sup>) et se situent, en 2019, autour de 2 µg/m<sup>3</sup>.

### 7.4.2 Concentrations horaires

Les boîtes à moustaches des 25<sup>ème</sup> maxima sont tracés sur la Figure 7.3. En effet, comme la valeur limite européenne horaire autorise 24 dépassements du seuil horaire de 350 µg/m<sup>3</sup> par an, comparer le 25<sup>ème</sup> maximum à ce seuil permet de vérifier instantanément si l'on dépasse ou non la norme européenne. On peut immédiatement constater que le 25<sup>ème</sup> maximum se situe fort loin de la valeur limite de 350 µg/m<sup>3</sup> et en outre que 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 SO<sub>2</sub> de manière exceptionnellement forte les 22 et 23 septembre en RBC (voir Figure 7.4) mais également dans le nord de la France [Airparif, 2014].

### 7.4.3 Concentrations journalières

Les concentrations journalières les plus élevées par année et par station sont présentées sur la Figure 7.5. On peut d'une part constater que la valeur limite journalière européenne de 125 µg/m<sup>3</sup> est largement respectée ces



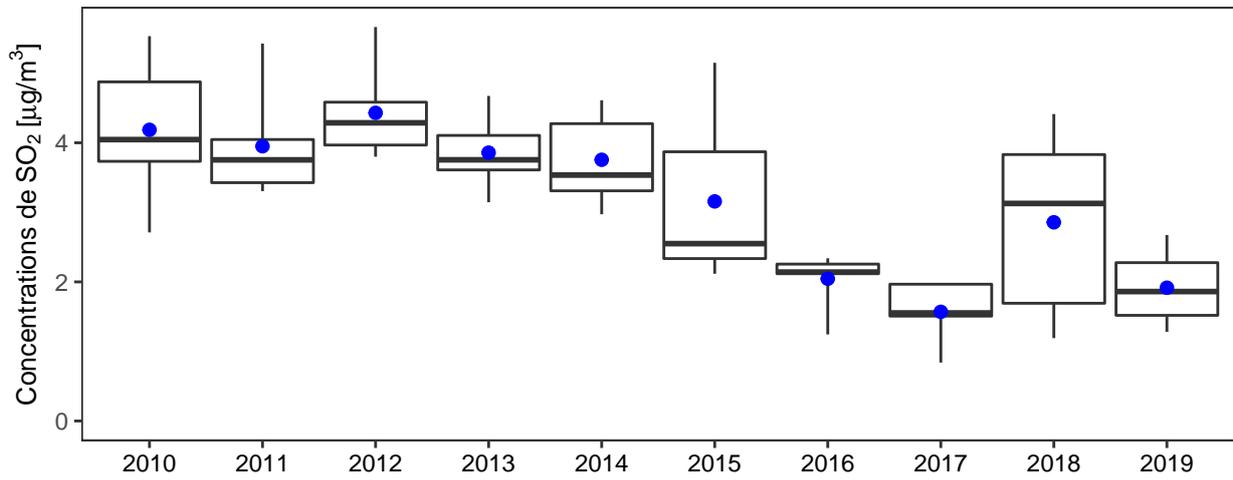


Figure 7.2 – Concentrations moyennes annuelles de SO<sub>2</sub> de toutes les stations pour la RBC [µg/m<sup>3</sup>].

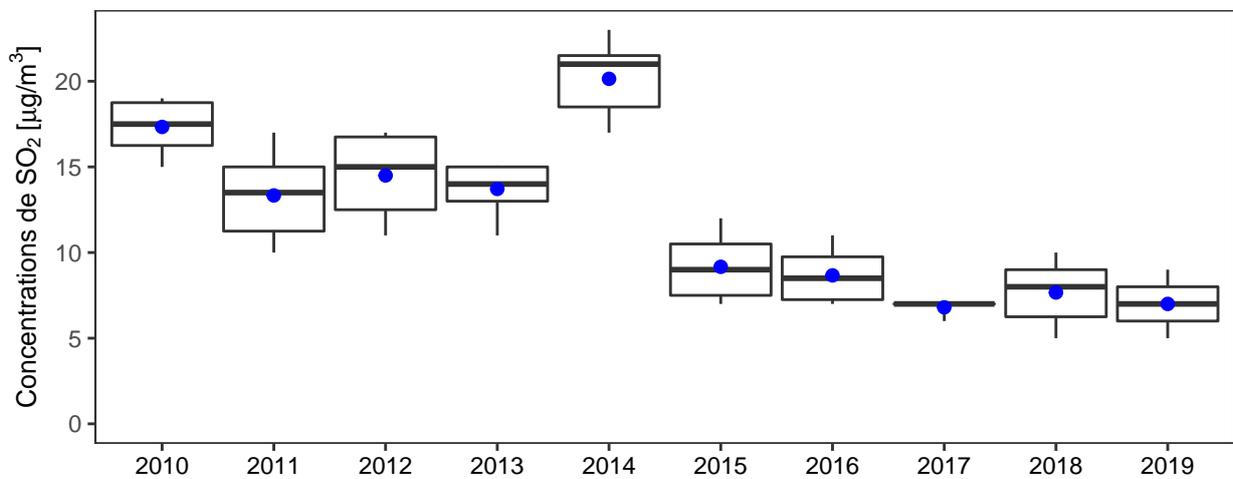


Figure 7.3 – 25<sup>ème</sup> concentration horaire maximale de SO<sub>2</sub> par an pour toutes les stations de la RBC [µg/m<sup>3</sup>].

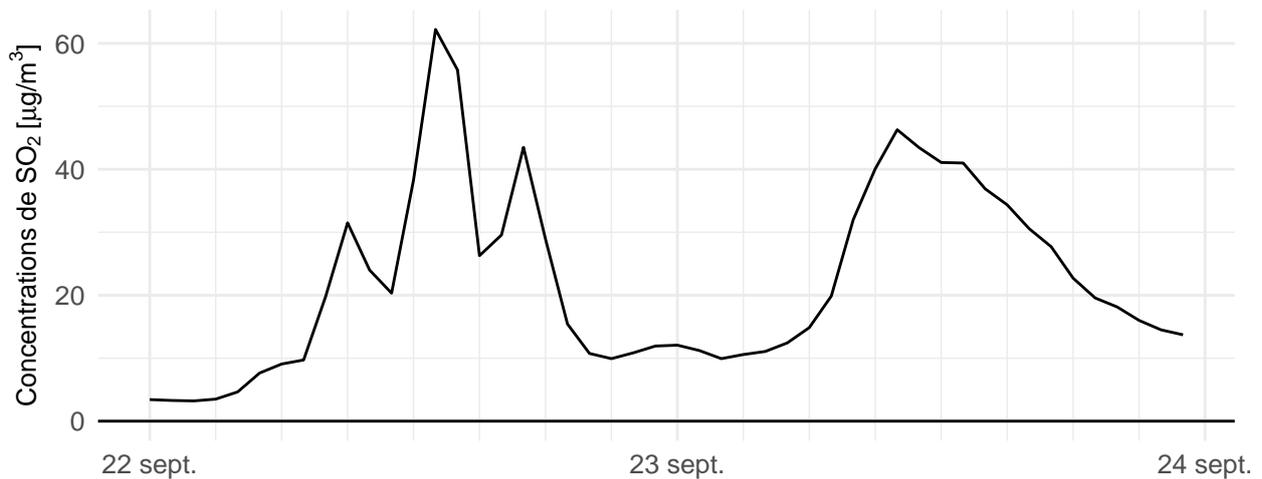
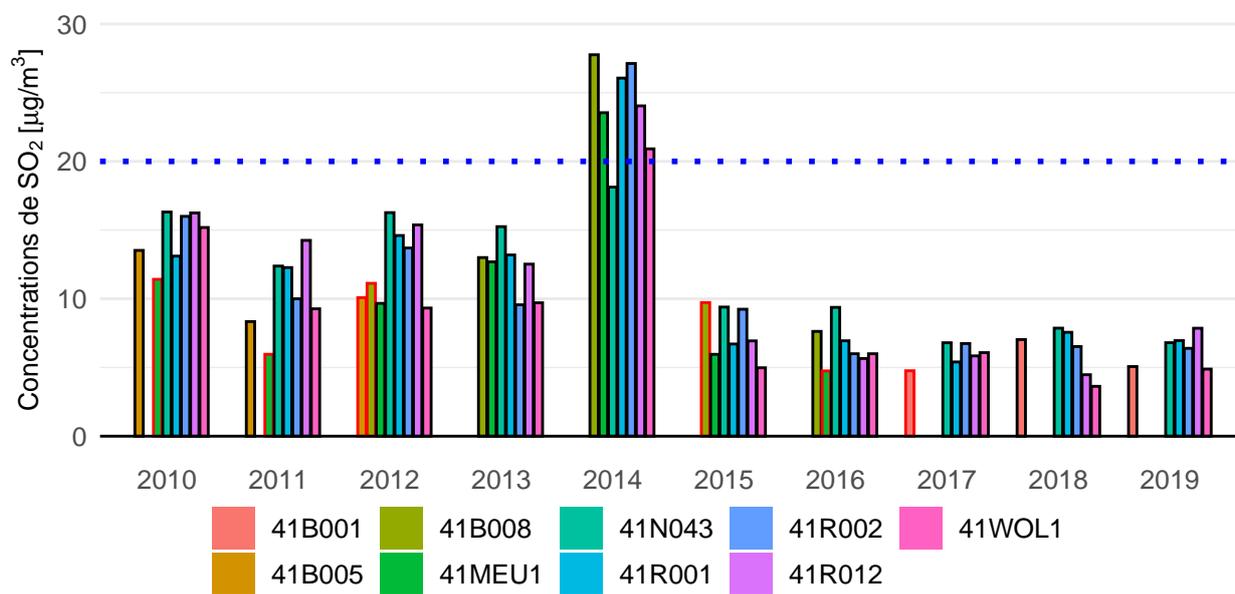


Figure 7.4 – Concentrations horaires de SO<sub>2</sub>, en moyenne sur toutes les stations de la RBC [µg/m<sup>3</sup>], du 22 au 23 septembre 2014. L'augmentation exceptionnellement intense des concentrations est due à l'éruption du volcan islandais Bardarbunga.

dix dernières années pour toutes les stations de mesure. La valeur journalière recommandée par l'OMS de 20 µg/m<sup>3</sup> n'a quant à elle été dépassée qu'en 2014, en raison de l'éruption volcanique du Bardarbunga (voir point 7.4.2).





**Figure 7.5** – Concentrations annuelles maximales des moyennes journalières de SO<sub>2</sub> de toutes les stations pour la RBC [µg/m<sup>3</sup>]. 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.



## 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 (CO<sub>2</sub>) 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 2018 [Bruxelles Environnement, 2020]). Les autres sources de CO sont le chauffage résidentiel (27% des émissions) et les véhicules non routiers (23% des émissions). Cependant, le CO n'est plus un polluant problématique en RBC vis-à-vis du respect des normes européennes et ce depuis longtemps.

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 par 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/m<sup>3</sup> (*milligrammes* par mètres cube).

### 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 2019.

#### 8.3.1 Moyennes annuelles

Les concentrations annuelles de CO (en mg/m<sup>3</sup>) pour chaque station de la RBC sont présentées sur la Figure 8.1. On peut constater que la valeur annuelle maximale (0.41 mg/m<sup>3</sup>) est enregistrée en 2019 à Haren (41N043). On peut donc déjà conclure que, de manière générale, ces concentrations plus élevées de CO sont liées à l'environnement industriel unique de la station de Haren.

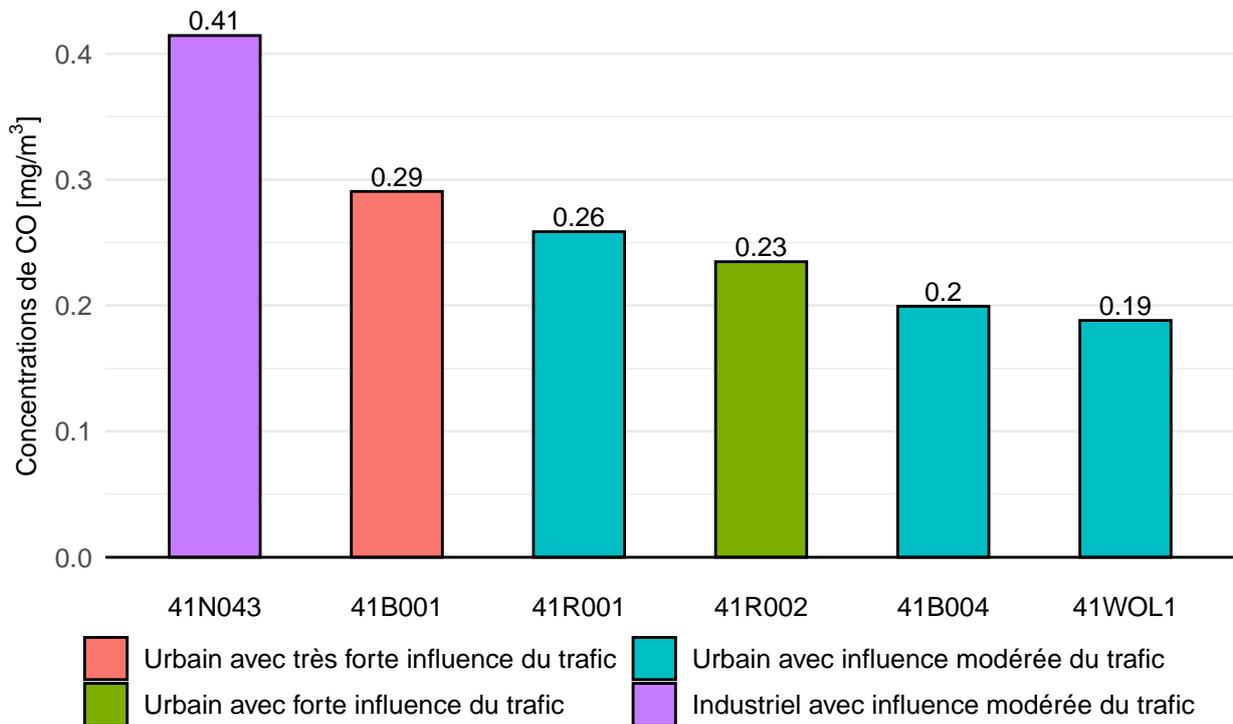
De manière générale, les motorisations diesel des camions émettent davantage de CO que leurs équivalents légers. C'est probablement un des facteurs expliquant les concentrations de CO les plus élevées à la station de Haren. Le second maximum (0.29 µg/m<sup>3</sup>) est mesuré à Arts-Loi (41B001), station urbaine avec très forte influence du trafic routier. La troisième station présentant la concentration annuelle la plus élevée est la station de Molenbeek-Saint-Jean (41R001), malgré l'influence modérée du trafic à ce site de mesure. Les autres stations enregistrent des concentrations toutes de l'ordre de 0.2 mg/m<sup>3</sup> (égales ou inférieures à 0.23 µg/m<sup>3</sup>).

### 8.4 MESURES HISTORIQUES

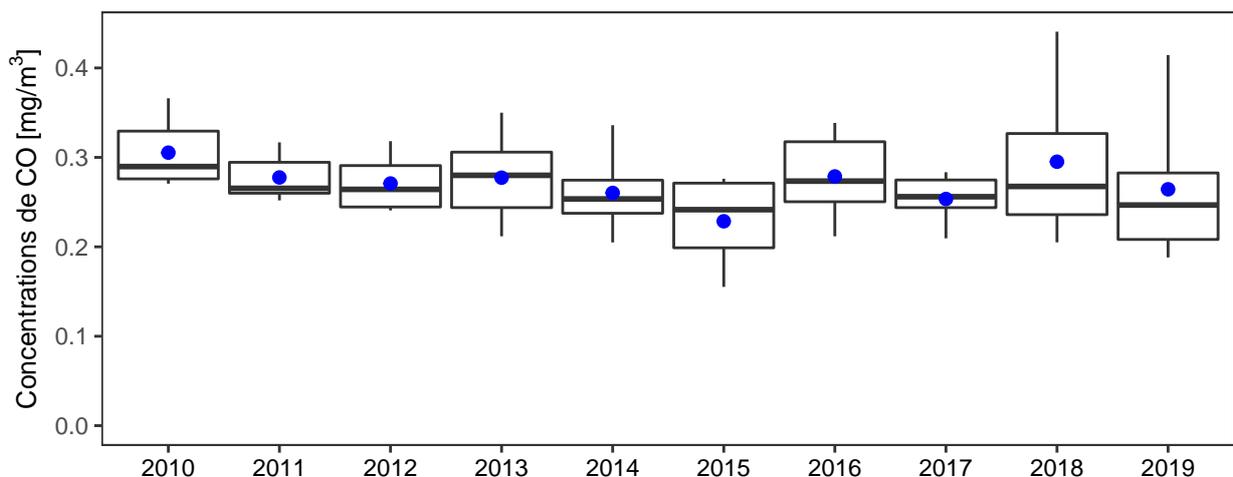
#### 8.4.1 Concentrations annuelles

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/m<sup>3</sup>) et les moyennes des concentrations annuelles ne varient que très peu d'une année à l'autre.





**Figure 8.1** – Concentrations moyennes annuelles de CO pour chaque station de la RBC en 2019 [mg/m<sup>3</sup>]. 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.

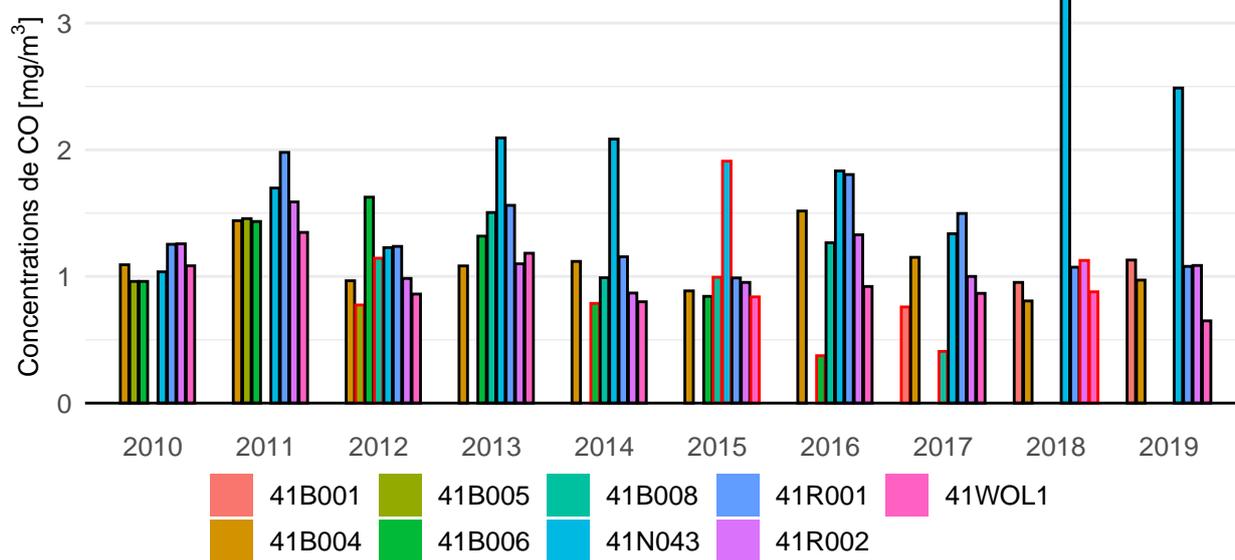


**Figure 8.2** – Concentrations moyennes annuelles de CO de toutes les stations pour la RBC [mg/m<sup>3</sup>]. Les années indiquées en rouge correspondent à des années pour lesquelles moins de 50% des stations ont atteint les 85% de saisie de données minimales requises.

#### 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/m<sup>3</sup> : 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/m<sup>3</sup>. On peut également constater que depuis 2018, la tendance des maxima journaliers des moyennes glissantes sur 8 heures n'est nettement à la hausse qu'à la station de Haren. Ceci s'explique possiblement par l'amplification du trafic de camions à proximité de la station étant donné la réorganisation de leurs itinéraires dans les environs.





**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/m<sup>3</sup>]. 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

Dans ce rapport annuel, nous avons dans un premier temps donné le contexte général de la qualité de l'air en Europe, des Directives la régulant et des valeurs recommandées par l'OMS (à l'échelle mondiale) pour différents polluants, que ce soit les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), les particules fines ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2,5}$ ), l'ozone ( $\text{O}_3$ ), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ). Nous avons étudié également dans ce rapport un polluant non régulé mais d'intérêt scientifique, le black carbon (BC). Nous nous sommes ensuite tournés vers le réseau de mesure de la qualité de l'air de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC), les stations le constituant et leur environnement spécifique, ainsi que la nature des polluants mesurés dans chaque station (chapitre 2). Ensuite, nous avons analysé les résultats des mesures à proprement parler, soit les concentrations des différents polluants d'intérêt pour l'année 2019 et historiquement pour les dix dernières années (2010 - 2019).

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 à Bruxelles (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.

Par rapport au  $\text{NO}_2$  (chapitre 3), alors qu'il y a dix ans, la valeur limite annuelle européenne de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (égale à la valeur annuelle recommandée par l'OMS) était dépassée en plusieurs points de mesure en RBC, celle-ci est à présent respectée pour toutes les stations de mesure du réseau rapportées à la Commission européenne (mais pas à la station d'Arts-Loi). Ce dépassement est lié à l'exposition très forte de la station d'Arts-Loi au trafic routier. Cette station ne fait pas partie des stations de mesures rapportées à la Commission européenne étant donné qu'elle est située à trop grande proximité d'un carrefour au trafic intense et qu'elle ne répond par conséquent pas aux critères d'implantation des Directives européennes<sup>1</sup>. Le lien entre le dépassement de la valeur limite annuelle et l'exposition très forte de la station au trafic routier peut être généralisé, entre autres, aux grandes villes du nord-ouest de l'Europe. 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. Depuis 2017 en outre, on n'a enregistré *aucun* dépassement des  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et la valeur recommandée par l'OMS (3 dépassements autorisés) est donc respectée également.

Pour les  $\text{PM}_{10}$  (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 valeur recommandée par l'OMS ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec 3 dépassements autorisés) est respectée dans 4 des 6 six stations en 2019. La valeur limite annuelle ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour les  $\text{PM}_{10}$  n'a jamais été dépassée ces dix dernières années et la valeur annuelle recommandée par l'OMS ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) n'est plus dépassée qu'en une seule station en 2019.

En ce qui concerne les  $\text{PM}_{2,5}$ , la valeur limite annuelle de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est bien respectée partout depuis 2010 et en particulier depuis son entrée en vigueur en 2015. En 2019, pour la première fois depuis 10 ans, la valeur annuelle recommandée par l'OMS de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , extrêmement stricte, a été respectée en une station de mesure (Uccle). La Directive 2008/50/CE ne prévoit pas de valeur journalière pour les  $\text{PM}_{2,5}$  mais l'OMS prévoit une valeur journalière recommandée, de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (avec 3 dépassements autorisés). Celle-ci est encore 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 bien respectée jusqu'en 2017 mais a été excédée en 2018 (année à l'été caniculaire) avec 27 dépassements enregistrées en un point de mesure (Neder-Over-Heembeek). En 2019, cette station n'a pas enregistré suffisamment de données pour être prise en compte et la moyenne sur 3 ans du NET60 reste donc toujours en dépassement. La valeur recommandée par l'OMS (au-

<sup>1</sup>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.



cun 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 (et en Belgique).

En ce qui concerne le  $\text{SO}_2$  (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. Pour le  $\text{SO}_2$ , la décroissance des concentrations au cours des années se poursuit en outre alors que pour le CO, la tendance moyenne sur les stations est stable.

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 du progrès technologique. Les valeurs limites européennes sont ainsi toutes respectées en RBC en 2019 (seule la valeur *cible* pour l'ozone n'est pas respectée depuis 2018). Pour l'avenir, bien que certaines valeurs recommandées par l'OMS soient déjà respectées, il reste néanmoins encore beaucoup à faire pour améliorer la qualité de l'air, de manière générale à l'échelle européenne (mais aussi mondiale), pour les respecter toutes. Il est également important de noter qu'une révision des valeurs guides de l'OMS est en cours et que les normes européennes pourraient devenir plus contraignantes dans les années à venir.



## 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 NO<sub>2</sub> 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'année<sup>1</sup>. 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/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub>) 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

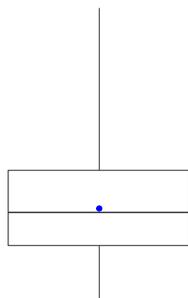
Nous utilisons dans ce rapport des «boîtes à moustaches» (*box plots*) pour résumer plusieurs statistiques sur les graphes. Une telle boîte à moustaches est illustrée sur la Figure A.1. De manière générale, leur lecture se fait de la façon suivante :

- 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»),
- le trait horizontal au sein du rectangle indique la médiane du jeu de données considéré,

<sup>1</sup> 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 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<sub>x</sub>** oxydes d'azote, mélange de monoxyde et de dioxyde d'azote.

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

**NO<sub>2</sub>** dioxyde d'azote, gaz irritant produit par combustion, surtout par les motorisations diesel.

**O<sub>3</sub>** 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<sub>25</sub>** particules fines de diamètre (aérodynamique) inférieur à 2.5 µm.

**PM<sub>10</sub>** particules fines de diamètre (aérodynamique) inférieur à 10 µm.

**PM<sub>2.5-10</sub>** 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).

**SO<sub>2</sub>** dioxyde de soufre, gaz toxique.

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

**NH<sub>3</sub>** ammoniac, gaz émis notamment par l'épandage de fertilisants sur des territoires agricoles.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** ion ammonium, intervenant dans la formation de particules secondaires minérales.

**SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** ion sulfate, intervenant dans la formation de particules secondaires minérales.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** ion nitrate, intervenant dans la formation de particules secondaires minérales.

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





## UNITÉS, ACRONYMES ET CODES DES STATIONS

### UNITÉS

**ppb(V)** partie par milliard (en volume), 1 ppbV = 1 nmol/mol.  
**µg/m<sup>3</sup>** microgrammes (de composé) par mètre cube (d'air), 1 µg = 0.001 mg.  
**mg/m<sup>3</sup>** 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/m<sup>3</sup>). 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/m<sup>3</sup>.  
**OMS** Organisation mondiale de la santé (WHO, *World health organisation*).

### CODES DES STATIONS

**41R012** Uccle  
**41B011** Berchem-Saint-Agathe  
**41MEU1** Neder-Over-Heembeek (Parc Meudon)  
**41B006** Parlement européen (non gérée par Bruxelles Environnement)  
**41R001** Molenbeek-Saint-Jean  
**41B004** Sainte-Catherine  
**41WOL1** Woluwe-Saint-Lambert  
**41R002** Ixelles  
**41B008** Rue Belliard (non gérée par Bruxelles Environnement)  
**41B001** Arts-Loi  
**41N043** Avant-port (Haren)





## 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/electfile/QAir\\_Rpt0911\\_corr\\_ssAnnexesB\\_C\\_D\\_E\\_fr.PDF](https://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/QAir_Rpt0911_corr_ssAnnexesB_C_D_E_fr.PDF).
- Bruxelles Environnement. *Données du Département Planification air, énergie et climat*. 2020.
- EEA. *Air quality in Europe - 2018 report*. 2018. URL <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2018>.
- EEA. *Air quality in Europe - 2019 report*. 2019. URL <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>.
- 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>.
- European Commission. *IPR*. 2018. URL [https://www.eionet.europa.eu/aqportal/doc/IPR%20guidance\\_2.0.1\\_final.pdf](https://www.eionet.europa.eu/aqportal/doc/IPR%20guidance_2.0.1_final.pdf).
- IRCEL-CELINE. *Rapport annuel 2018 de la qualité de l'air en Belgique*. 2019. URL <https://www.irceline.be/fr/documentation/publications/annual-reports/rapport-annuel-2018/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/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>.
- WHO. *Air Pollution*. 2020. URL [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1).
- 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](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf).

