



Table de matières de la fiche 23 « Les particules fines (PM10, PM2,5) »

1. Introduction	3
2. Caractéristiques des particules et terminologie associée	3
2.1. Les PM, un polluant atmosphérique sans définition chimique.....	3
2.2. Emission versus immission de particules.....	3
2.3. Classification des particules d'après la granulométrie.....	3
2.4. Classification des particules d'après l'origine et la formation	4
2.5. Modes de quantification des particules	5
3. Effets des particules	5
3.1. Effets sur la santé	5
3.2. Effets sur le climat.....	6
3.3. Effets sur l'environnement.....	6
4. Les directives européennes en matière de particules en suspension	7
4.1. Réglementation des concentrations de PM dans l'air ambiant.....	7
4.1.1. Les fractions PM10 et PM2,5	7
4.1.2. Les particules quantifiées selon la méthode des fumées noires.....	8
4.2. Réglementation des émissions de PM	8
4.2.1. Directive 2000/76/CE – incinération des déchets	8
4.2.2. Directive IPPC	10
4.2.3. Directives diverses régulant les émissions provenant du transport ...	10
4.2.4. Directives diverses visant à réduire la consommation énergétique ..	12
5. Inventaire des émissions de PM10 primaires en Région de Bruxelles-Capitale	12
5.1. Les sources d'émissions locales	12
5.2. Evolution des émissions locales depuis 1990	12
6. Surveillance des concentrations de particules dans l'air ambiant	13
6.1. Mesures télémétriques des PM10 et PM2,5 en Région bruxelloise	14
6.1.1. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse.....	14
6.1.2. Caractéristiques des stations de mesure.....	14
6.1.3. Evolution à moyen et à long terme des concentrations de PM10.....	17
6.1.4. Evolution à moyen terme des concentrations en PM2,5.....	18
6.2. Mesures avec analyse différée des fumées noires en RBC.....	18
6.2.1. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse.....	18
6.2.2. Caractéristiques des stations de mesure.....	18
6.2.3. Evolution sur le long terme des concentrations de fumées noires en RBC	18
7. Analyse du respect des normes « santé » en RBC	19
7.1. Respect de la norme journalière	19
7.1.1. Les PM10	19
7.2. Respect de la norme annuelle	20
7.2.1. Les PM10	20
7.2.2. Les PM2,5	21
7.3. Pronostic quant au respect des normes.....	22
8. Objectivation des teneurs en particules dans l'air ambiant	24
8.1. Les effets de proximité des activités urbaines sur les particules.....	24



8.2. Evaluation de l'importance du trafic routier : effet du weekend sur les particules.....	24
8.2.1. Fumées noires.....	24
8.2.2. PM10 et PM2,5.....	25
8.3. Evaluation de l'importance du trafic routier : effet des journées sans voiture sur les PM	27
8.4. La formation d'aérosols secondaires.....	29
8.5. Le rapport entre PM2,5 et PM10 en Région bruxelloise.....	33
8.6. Conditions météorologiques lors des jours de dépassement en PM10.....	34
8.7. Importance de la pollution de fond et de l'importation de PM10 en RBC	35
8.8. Quelques paramètres chimiques des particules en Région bruxelloise	36
8.8.1. Teneurs en HPA, traceurs de processus de combustion.....	36
8.8.2. Les HPA et la santé humaine	39
8.8.3. Composants « extra urbains ».....	39
8.8.4. Composants précurseurs des aérosols	39
8.9. Le comptage des particules	39
9. Conclusions basées sur les observations des données	41
9.1. La concentration massique des PM n'est pas principalement déterminée par les émissions locales de particules venant du trafic	41
9.2. Causes des dépassements des normes pour PM10.....	42
9.2.1. Dépassements observés simultanément dans plusieurs postes de mesure	42
9.2.2. Dépassements observés uniquement dans un environnement industriel et/ou à forte circulation	44
10. Commentaire sur la relation entre particules fines et le trafic routier.....	45
11. L'exposition des usagers de l'espace public	46
12. Conclusions	48



23. LES PARTICULES FINES (PM10, PM2,5)

1. Introduction

La communauté scientifique s'attelle depuis plusieurs décennies à déterminer l'impact des particules fines sur la santé humaine et sur le climat dans le but notamment d'aider les décideurs à prendre des mesures efficaces pour la protection de la santé humaine.

Les directives européennes de plus en plus restrictives poussent les gouvernements des Etats membres à prendre des dispositions afin de réduire la pollution par les particules, une préoccupation qui est particulièrement pressante dans la région « hotspot » de l'Europe centro-occidentale qui se caractérise par une grande densité d'activités et de population (EMEP, 2005). Un réseau de mesure est essentiel pour appréhender les problèmes de pollution et définir les actions appropriées pour préserver la santé publique et l'environnement. Chaque pays de l'Union européenne doit d'ailleurs disposer d'un réseau de mesure extrêmement stable et fiable pour objectiver l'évolution des concentrations des particules dans l'atmosphère. Pour les agglomérations d'environ un million d'habitants, les directives européennes imposent que chaque polluant réglementé soit mesuré à quatre endroits différents, à l'exception des PM2,5 pour lesquels deux postes de mesure suffisent.

La problématique des particules est complexe à cause de la variabilité de leur composition physico-chimique, le manque d'emprise sur la formation de particules secondaires dans l'atmosphère, ainsi que sur la durée de vie et le transport de ces dernières. Les particules constituent dès lors un important problème transfrontalier au même titre que l'acidification, l'eutrophisation et l'ozone troposphérique. Il est clair qu'il faudra unir les efforts à tous les niveaux de pouvoir, de l'échelle locale à l'échelle continentale.

2. Caractéristiques des particules et terminologie associée

2.1. Les PM, un polluant atmosphérique sans définition chimique

« Poussières » est un terme générique désignant toutes les particules de matière en suspension dans l'air ambiant. On les appelle également « aérosols » ou « Particulate Matter (PM) ». Il s'agit d'un mélange complexe de petites particules solides et de gouttelettes liquides. C'est le seul polluant atmosphérique pour lequel aucune définition chimique n'est utilisée du fait de la vaste gamme de composition physico-chimique de ces dernières. En fonction de la température et de l'hygrométrie, certaines particules en suspension peuvent contenir une quantité importante et variable d'humidité et de composés volatils. D'autres particules, entre autres les sels d'ammonium, se dissocient quand la température augmente et l'air devient plus sec. Vu la grande variation de taille et de composition physico-chimique, les impacts sur la santé et sur le climat sont très variés.

2.2. Emission versus immission de particules

Les émissions, exprimées en unité de masse par unité de temps (par exemple kilo tonne par an, kt/an) représentent la quantité de particules émises directement ou indirectement par le transport routier, le secteur résidentiel, le secteur tertiaire ou le secteur industriel. Ces émissions sont quantifiées en utilisant les données de consommation des sources émettrices principales et en utilisant les facteurs d'émission (exprimés en g/J) qui évaluent la quantité de polluant émise pour une certaine quantité d'énergie consommée. Les émissions permettent de déterminer les contributions des différentes sources des polluants et de cibler les secteurs envers lesquels il faut agir. Une fois émises, les particules sont dispersées plus ou moins efficacement dans l'air en fonction des conditions météorologiques (vent, hauteur de la couche de mélange, inversion thermique).

Les valeurs des immissions correspondent aux concentrations mesurées dans l'air ambiant, elles sont exprimées en unité de masse par volume d'air (par exemple en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM).

L'évaluation de la qualité de l'air se base sur les immissions et non pas sur les émissions.

2.3. Classification des particules d'après la granulométrie

On considère différentes tailles de particules qui sont déterminées en fonction du diamètre aérodynamique, appelé ci-après « diamètre » :

- Les particules totales (PM) : l'ensemble des particules dans l'air



- Les particules fines (PM10) : les particules de diamètre inférieur à 10 μm
- Les particules très fines (PM2,5) : les particules de diamètre inférieur à 2,5 μm
- Les particules ultrafines (PM1) : les particules de diamètre inférieur à 1 μm
- Les nanoparticules (PM0.1) : les particules de diamètre inférieur à 0.1 μm qui sont considérées comme les particules les plus nocives pour la santé.

Il est à noter que PM10 comptabilisent les PM2,5, PM1 et PM0.1, tout comme celles des PM2,5 englobent les PM1 et PM0.1 et les PM1 les PM0.1. La Région de Bruxelles-Capitale a commencé les mesures de la fraction PM2,5 à partir de fin 1999.

2.4. Classification des particules d'après l'origine et la formation

Les particules présentes dans l'air ambiant sont d'origines multiples:

- Les particules naturelles proviennent de processus naturels : la directive 1999/30/CE mentionne comme "événement naturel": éruptions volcaniques, les activités sismiques, les activités géothermiques, les feux de terres non cultivées, les vents violents, la remise en suspension atmosphérique ou le transport de particules naturelles provenant de régions désertiques. La directive 2008/50/CE mentionne en plus les embruns marins et mettra en place des dispositions pour annuler les effets du sablage et du salage hivernal des routes qui peuvent causer une hausse de la concentration.
- Les particules anthropiques sont émises par des activités humaines telles que celles résultant de combustion, de processus industriels, formation de suies, usure des revêtements routiers, travaux de démolition, chantiers de construction, stockage et manutention de matières en vrac, d'abrasion ...

Selon que les particules sont émises telles quelles ou qu'elles se sont formées dans l'air suite à des réactions chimiques à partir d'autres polluants, on distingue :

- les particules primaires (provenant de sources naturelles ou anthropiques);
- les particules secondaires (formation de sulfates, formation de nitrates, nucléation de molécules de gaz, réactions gazeuses dans des gouttelettes d'eau).

Les particules secondaires se forment dans des conditions météorologiques particulières et sont le résultat d'une combinaison avec des molécules naturellement présentes dans l'atmosphère provenant de précurseurs gazeux polluants tels que les COV, l'ammoniac (NH_3), l'acide nitrique (HNO_3) et les dérivés soufrés liés aux émissions de SO_2 . L'ammoniac provient essentiellement du secteur de l'agriculture alors que l'acide nitrique est formé à partir de l'oxydation des NOx (transformation du NO en NO_2) émis par la combustion du fuel. En milieu urbain, le NOx provient principalement du trafic ainsi que du chauffage des bâtiments. Les NOx qui sont convertis rapidement en HNO_3 peuvent soit être lessivés en cas de pluie (le HNO_3 est très soluble dans l'eau), soit réagir avec une particule pour ainsi former du nitrate particulaire. Si la température est assez élevée, ce nitrate particulaire peut s'évaporer ou en cas de pluie être lessivé. La proportion d'aérosols secondaires est loin d'être négligeable (voir points 8.4 et 8.5).

Les particules dont le diamètre est compris entre 10 et 2,5 μm sont essentiellement des particules primaires qui proviennent de l'abrasion mécanique de matières solides (frottement de surface, chantiers de construction et démolition, traitement de sols, ...). Par temps sec, la concentration de PM10 dépend de l'équilibre entre la dispersion dans l'air et la retombée par gravité.

Les PM2,5 se partagent entre particules primaires et particules secondaires. Les PM2,5 primaires sont principalement des particules carbonées provenant de la condensation de vapeurs très chaudes pendant la combustion de matières organiques fossiles (charbon, fuel, diesel...) ou de biomasse (bois...). Celles-ci sont de plus en plus communément appelées « particules diesel » stigmatisant par là, la source actuellement la plus controversée en milieu urbain.

Les particules ultrafines (PM1) et nanoparticules (PM0.1) ne sont pas encore analysées de manière régulière. Ces particules proviennent majoritairement de la combustion d'énergie fossile et sont les particules qui semblent être les plus nocives pour l'organisme. Font partie des PM1, les particules de suie, le plomb originaire du trafic, le carbone élémentaire et une grande partie des sels d'ammonium.



Ces clarifications d'origine et de formation font apparaître que les particules mesurées ne sont pas nécessairement émises ou formées à l'endroit même où elles sont détectées, elles peuvent venir de très loin. A ce propos, on distingue :

- les particules endogènes à une région;
- les particules exogènes qui ont été transportées sur de grandes distances (voir point 8.8).

En bref

Pour interpréter correctement les concentrations en PM10 dans un endroit donné, il faut savoir qu'une proportion importante mais variable est constituée de particules PM2,5 et que les valeurs mesurées sont le résultat de la formation d'aérosols secondaires en plus des particules émises à proximité et à distance par des activités humaines et naturelles.

2.5. Modes de quantification des particules

Les méthodes de quantification sont différentes selon que les particules sont piégées sur une membrane filtrante ou encore en suspension dans l'air. Plusieurs paramètres sont utilisés :

- La **masse** : la quantification de la masse des particules prélevées de façon classifiée en fonction de leurs dimensions, est la méthode encore utilisée actuellement pour le respect des normes et dans la plupart des études épidémiologiques. La directive CE impose d'ailleurs la gravimétrie, après échantillonnage sur filtre pendant 24 heures, comme méthode de référence. D'un point de vue toxicologique, cette approche semble de plus en plus dépassée.
- Le **nombre** : la quantification du nombre des particules prélevées de façon classifiée en fonction de leurs dimensions semble plus indiquée pour évaluer la toxicité même des PM. Les particules les plus fines sont en principe présentes en plus grand nombre, mais leur contribution à la concentration massique ne contrebalance pas celle des particules plus grosses.
- La **surface** et la forme

3. Effets des particules

3.1. Effets sur la santé

Les grosses particules (diamètre > 10 μ m), principalement d'origine naturelle, n'ont qu'un faible impact sur la santé : elles se déposent très rapidement sur le sol ou elles sont arrêtées au niveau du nez ou avalées. L'évaluation de leurs émissions et de leur concentration paraît moins utile pour la protection de la santé (MIRA, 2007).

Les particules fines (PM10) et très fines (PM2,5) pénètrent, quant à elles, plus ou moins profondément dans le système respiratoire selon leur taille. Les particules de la fraction < 2,5 μ m peuvent pénétrer plus profondément et les plus petites peuvent être acheminées jusque dans les alvéoles pulmonaires, où il y a passage de substances toxiques voire dangereuses vers la circulation sanguine. Les fractions thoracique (<PM2,5) et alvéolaire (<PM1) des particules sont responsables de l'irritation des voies respiratoires, de l'altération de la fonction respiratoire surtout chez l'enfant et les personnes âgées (voir la fiche santé 15 Broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO)), de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des crises d'asthmes chez des sujets asthmatiques (voir la fiche santé 14 Asthme), de problèmes cardio-vasculaires, d'une augmentation de décès prématurés, d'une diminution de l'espérance de vie. La modélisation de l'impact sur la santé de l'exposition aux particules a été menée en Région de Bruxelles-Capitale dans le cadre du projet APHEIS (Air Pollution and Health: a European Information System). Ce projet s'est basé sur les données des années 2001 et 2004 pour évaluer la mortalité attribuable à l'exposition aux particules, et surtout la mortalité évitable si l'exposition était réduite (voir IBGE-BIM, 2008b).

De nombreuses études épidémiologiques se sont basées sur la surveillance des concentrations en PM10 comme une approximation de l'exposition aux particules afin d'évaluer les effets sur la santé (voir les études APHEIS menées sur des villes européennes, par exemple). La modélisation de l'impact sur la santé de l'exposition aux particules a été menée en Région de Bruxelles-Capitale dans le cadre des projets APHEIS (Air Pollution and Health: a European Information System) (voir apheis.net) et ENHIS-1 (European Environment and Health Information System) (voir enhis.org). Ces projets se sont basés sur les données des années 2001 et 2004 pour évaluer la mortalité attribuable à



l'exposition aux particules, et surtout la mortalité évitable si l'exposition était réduite (voir IBGE-BIM, 2008b).

Le danger pour la santé dépend également de la nature chimique et de l'éventuelle association à d'autres polluants (métaux lourds, HPA). En raison de leur caractère potentiellement mutagène et/ou cancérigène, les suies, HPA et particules contenant du carbone dans la fraction des fines particules présentent certainement un plus grand risque que les particules d'argile et de sable qui appartiennent à la classe 2,5 à 10 µm. Le point 8.8.2 donne plus de renseignements sur les HPA et la santé humaine.

D'autres éléments à prendre en compte sont la dose et la durée d'exposition (voir la fiche santé 2).

Lors de l'entrée en vigueur de la directive 1999/30/CE, la fraction PM10 des particules a été retenue comme paramètre pour l'évaluation de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé humaine. Le choix de la fraction PM10 comme paramètre pour la santé est défendable, car elle comprend aussi bien la fraction fine (< 2,5 µm), que les particules plus grosses (2,5 à 10 µm). La directive 2008/50/CE inclut dorénavant l'obligation de suivre la présence des particules PM2,5 dans l'air ambiant. Elle prévoit des objectifs de qualité de l'air qui concernent tant les concentrations massiques en PM2,5 que l'exposition de la population dans les zones urbaines.

Étant donné qu'une grande partie de la masse des PM10 peut se composer de grosses particules minérales et de particules lourdes (plus grande masse spécifique) présentant un risque plus faible pour la santé, l'établissement d'une norme qui se base sur la concentration massique de la fraction PM10 n'est probablement pas la méthode la plus adéquate pour rendre compte de l'évolution des concentrations de particules les plus dangereuses. Une diminution significative du nombre des particules dangereuses, comme celle qui découlera de l'installation de filtres à particules sur les voitures diesel pour le respect de la norme EURO5, n'induera probablement qu'une diminution minimale de la concentration massique des PM10, mais apportera certainement une amélioration réelle au niveau de la santé.

3.2. Effets sur le climat

Outre les risques pour la santé, les poussières ont un impact non négligeable sur le climat [IPCC, 2001]. Elles ont un effet direct sur le bilan radiatif de la terre : certaines particules comme les particules de carbone absorbent le rayonnement solaire entraînant un réchauffement local de l'air alors que d'autres particules réfléchissent la lumière impliquant un refroidissement. Ces particules peuvent agir également de manière indirecte sur le climat : la formation des gouttelettes d'eau contenues dans les nuages a besoin d'un noyau de condensation que constituent les particules. Sans particules, il n'y aurait pas de nuages. Une augmentation de la quantité de particules dans l'air ambiant aurait donc pour conséquence l'augmentation du nombre de gouttelettes d'eau dans l'atmosphère et donc de la nébulosité entraînant un refroidissement au niveau du sol. De plus, la présence de particules dans l'atmosphère augmente la quantité du rayonnement solaire diffus au détriment du rayonnement solaire direct, ce qui influence la photosynthèse. Il est difficile actuellement de dire quel est l'effet global des particules sur le climat du fait des effets antagonistes de ces particules.

L'analyse des données météorologiques provenant de 3250 stations météo a permis de constater que la visibilité de type « ciel clair » au-dessus des continents a globalement diminué entre 1973 et 2007. L'Europe s'avère être le seul continent où les niveaux d'aérosols ont globalement diminué (Wang, 2009).

3.3. Effets sur l'environnement

En milieu urbain, les dépôts de particules dégradent le patrimoine immobilier, dont le patrimoine architectural historique, en causant altération et dégâts esthétiques qui entraînent des frais de nettoyage et d'entretiens considérables. Il est cependant difficile de chiffrer les dégâts dus aux particules étant donné que celles-ci sont généralement associées à des nuisances par d'autres polluants : SO₂, pluie acide (Mira, 2007).

Les particules fines peuvent être absorbées par les plantes ou se déposer sur le sol. Leur degré de toxicité dépend de leur composition chimique et de leur éventuelle association à d'autres polluants (métaux lourds, HPA, ...). Ces particules peuvent par conséquent porter atteinte à la biosphère, directement ou via la chaîne alimentaire qui est liée aux organismes pollués.



4. Les directives européennes en matière de particules en suspension

Afin de minimiser l'impact de l'activité humaine sur la santé, l'Union Européenne a mis en place des valeurs guides qui concernent non seulement les émissions des substances polluantes par certains secteurs (industries, processus de combustion, incinération des déchets...) mais aussi les concentrations de ces polluants dans l'air ambiant. Cette matière fait l'objet de la fiche air n° 3. Les points ci-après constituent un zoom avant sur la réglementation des particules.

Pour rappel, contrairement aux valeurs cibles, les valeurs limites ont force de loi et ne peuvent pas être dépassées.

4.1. Réglementation des concentrations de PM dans l'air ambiant

4.1.1. Les fractions PM10 et PM2,5

La **directive 2008/50/CE** du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe est d'application depuis le 11 juin 2008 (la transposition doit être réalisée dans chaque Etat membre avant le 11 juin 2010). Elle fixe les valeurs limites pour les particules PM10 et PM2,5 (voir tableau 23.1) et différentes dispositions réglementaires (méthodes et critères communs pour l'évaluation de la qualité de l'air, pour l'obtention des informations et leur mise à disposition du public, pour une coopération accrue entre les Etats membres).

Tableau 23.1

Valeurs limites et valeurs cibles "santé publique" pour les particules en suspension					
Directive	Fraction des PM	Valeur limite (VL) Valeur cible (VC)	Mode de calcul	Nombre de dépassements autorisé	Date pour le respect de la VL ou VC
2008/50/CE	PM2.5	VC 25 µg/m ³	Moyenne annuelle		1/01/2010
		VL 25 µg/m ³	Moyenne annuelle	Marge dépass. en 06/2008 = 20 %	1/01/2015
		VL 20 µg/m ³ *	Moyenne annuelle		1/01/2020 *
		réduction de 20% de l'exposition en Belgique	IEM2020 minus IEM 2010		1/01/2020
		VL 20 µg/m ³	IEM 2015		1/01/2015
	PM10	VL 50 µg/m ³	Moyenne journalière	35	Depuis 01/01/2005
VL 40 µg/m ³		Moyenne annuelle			
80/779/CEE (abrogée par la directive 1999/30/CE)	Fumées noires	VL 80 µg/m ³	Moyenne annuelle		plus d'appl. (obligatoire jusqu'au 01/01/2005)
(*) il s'agit d'une valeur limite indicative à revoir éventuellement à partir de 2013					
IEM = indicateur d'exposition moyenne à déterminer sur base des mesures dans les lieux caractéristiques de la pollution de fond urbaine situés dans les zones et agglomérations sur l'ensemble du territoire belge. L'IEM est calculé en tant que concentration moyenne annuelle sur trois années consécutives, en moyenne sur tous les points de mesure installés à ce but. Pour la Belgique, l'IEM est développé par Celine-Ircel.					
IEM 2010 = concentration moyenne annuelle des années 2008, 2009 et 2010					
IEM 2015 = concentration moyenne annuelle des années 2013, 2014 et 2015					
IEM 2020 = concentration moyenne annuelle des années 2018, 2019 et 2020					

A partir du 11 juin 2010, la nouvelle directive 2008/50/CE abrogera la directive-cadre 96/62/CE du 21 novembre 1996 concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant et la directive-fille 1999/30/CE du 22 avril 1999 qui concerne 5 polluants dont les particules en suspension (plus particulièrement la fraction PM10 qui inclut les PM2,5).



La directive 2008/50/CE abrogera en plus la décision 97/101/CE du Conseil du 27 janvier 1997 établissant un échange réciproque d'informations et de données provenant des réseaux et des stations individuelles mesurant la pollution de l'air ambiant dans les états membres.

Les changements principaux apportés par la nouvelle directive pour la matière qui nous intéresse ici, sont :

- la fixation de valeurs limites et de valeurs guides pour les concentrations en PM_{2,5} qui deviennent progressivement plus sévères. Elles remplacent les valeurs limites indicatives des concentrations en PM₁₀ prévues par la directive 1999/30/CE à l'horizon 2020 ;
- l'introduction d'un indicateur d'exposition moyenne (IEM) et d'un objectif national de réduction de l'exposition ;
- la prévision d'un réexamen en 2013 ;
- la déduction des concentrations imputables à des sources naturelles, lors de l'évaluation du respect des valeurs limites ;
- la publication par la Commission (au plus tard le 11 juin 2010) de lignes directrices sur la méthode à utiliser pour prouver et déduire les dépassements imputables à des sources naturelles, ainsi que sur la méthode à utiliser pour déterminer les contributions provenant de la remise en suspension de particules provoquée par le sablage ou le salage hivernal des routes ;
- la possibilité d'obtenir - moyennant certaines conditions stipulées dans les paragraphes 1 et 2 de l'article 22 - une exemption de l'obligation d'appliquer les valeurs limites pour PM₁₀ jusqu'au 11 juin 2011. La concentration doit toutefois rester en-dessous de la valeur limite augmentée de la marge de dépassement maximale indiquée à l'annexe XI de la directiveⁱ.

La **directive-cadre 1996/62/CE** du 27 septembre 1996 oblige les autorités à intervenir en cas de pic de pollution. Pendant la période hivernale (novembre à mars), les jours d'inversion thermique présentent le risque que les seuils de la directive 1999/30/CE pour NO₂ et PM₁₀ soient dépassés. Le Gouvernement de la RBC a donc établi un « plan d'urgence » pour informer la population et mettre en place des mesures en cas de pic de pollution. Les dispositions du plan font l'objet de l'arrêté du 27 novembre 2008 déterminant les mesures d'urgence en vue de prévenir les pics de pollution atmosphérique par les microparticules et les dioxydes d'azote. L'arrêté, qui est entré en vigueur le 1 janvier 2009, impose à partir de trois seuils de pollution croissante, trois niveaux d'interventions de plus en plus restrictives pour limiter les émissions anthropiques locales provenant de la circulation et du chauffage des bâtiments publics. Les seuils d'intervention seront déclenchés sur base des prévisions faites par la Cellule interrégionale pour l'Environnement.

Plus de détails sur le plan d'urgence se trouvent dans son rapport sur les incidences environnementales (IBGE-BIM, 2008b).

4.1.2. Les particules quantifiées selon la méthode des fumées noires

La **directive 1980/779/CE** était d'application jusqu'au 1er janvier 2005. Elle fixait des valeurs guides pour les particules en suspension mesurées selon la méthode des fumées noires (tableau 23.1)

Cette directive a été abrogée par la directive 1999/30/CE qui imposait des valeurs limites rien que pour la fraction PM₁₀ des particules. En Région de Bruxelles-Capitale, le seuil pour les fumées noires est cependant toujours utilisé comme seuil de référence.

4.2. Réglementation des émissions de PM

4.2.1. Directive 2000/76/CE – incinération des déchets

Cette directive impose aux installations d'incinération ou de co-incinération d'obtenir une autorisation préalable garantissant qu'elles respectent les limites d'émission de certaines substances polluantes dans l'atmosphère et dans les eaux. Les poussières totales font partie des substances réglementées

ⁱ A l'instar de huit autres Etats membres, les trois régions belges ont introduit une demande d'exemption qui a été refusée par la Commission, le 2 juillet 2009 (voir Décision relative à la notification, par la Belgique, d'une exemption de l'obligation d'appliquer les valeurs limites fixées pour les PM₁₀ : http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/pdf/be_fr.pdf). Dans le cas de la Région bruxelloise, la Commission a estimé que les mesures proposées dans les plans ne démontraient pas que les normes seraient respectées à l'expiration de la période d'exemption.



par la directive, tout comme l'oxyde d'azote, le dioxyde d'azote, l'anhydride sulfureux et d'autres encore.

L'arrêté du gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 21/11/02 relatif à l'incinération des déchets (M.B. du 20/02/03) transpose la directive 2000/76/CE.

En Région de Bruxelles-Capitale, il existe trois incinérateurs qui sont concernés par la directive 2000/76/CE : l'incinérateur de déchets ménagers et assimilés situé à Neder-Over-Heembeek, l'incinérateur de boues de la station d'épuration Sud et le crématorium d'Uccle.



4.2.2. Directive IPPC

L'évaluation intégrée de la performance environnementale de grandes installations industrielles est régie par la directive 1996/61/CE sur la prévention et la réduction intégrée de la pollution (IPPC). Elle a été codifiée par la directive 2008/1/CE du 15 janvier 2008 qui reprend tous les amendements. Les activités concernées se trouvent dans l'annexe I de la directive.

La directive 1996/61/CE a été transposée en droit bruxellois par l'Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale fixant des conditions d'exploitation pour certaines installations industrielles classés du 11 Octobre 2007 (M.B. 31/10/2007).

Les entreprises IPPC doivent fournir des informations sur leurs émissions à l'IBGE-BIM. En Région de Bruxelles-Capitale, environ une douzaine d'entreprises sont concernées.

La directive prévoit la réalisation d'un inventaire des principales émissions et sources pour les installations qui disposent d'une ou plusieurs activités reprises dans l'annexe I de la directive et dont les émissions dans l'eau et l'air dépassent les valeurs seuils fixées dans la décision 2000/479/CE de la commission concernant l'implémentation d'un registre européen des émissions de polluants. Les rapportages 2001 et 2004 peuvent être consultés sur le site internet de l'EPER. En juin 2009, les états membres doivent rapporter sur l'année 2007 dans le European Pollutant Release and Transfer Register, ou E-PRTR, qui succède à l'EPER. Le rapportage se fera dorénavant chaque année et non plus tout les trois ans.

4.2.3. Directives diverses régulant les émissions provenant du transport

Ce sujet est traité plus en détail dans la fiche air 53 « Inventaire d'émissions atmosphériques liées au secteur des transports routiers - Modèle COPERT ».

Afin de réduire les émissions du secteur du transport, les directives européennes sont constamment adaptées et renforcées pour mieux légiférer les éléments suivants:

- la composition des carburants (directive 2003/17/CEⁱⁱ du 3 mars 2003 et Directive 2003/30/CEⁱⁱⁱ du 8 mai 2003): grâce à ces directives, la teneur en plomb et en soufre a sensiblement diminué.
- les émissions des gaz d'échappement, particulièrement des véhicules légers et utilitaires et des véhicules lourds (directive 1970/220/CEE du 20 mars 1970 et actes modificatifs^{iv}): la norme actuellement en vigueur pour les véhicules pour particuliers est la Euro 4 (voir tableau 23.2).
- les exigences du contrôle technique et d'entretien (directive 1996/96/CE du 20 décembre 1996 et actes modificatifs^v).

Les directives notées entre parenthèses ci-dessus sont celles en vigueur lors de la rédaction de la présente fiche. La transposition de ces directives incombe au niveau fédéral.

De nouveaux changements sont déjà programmés en ces matières :

(1) Concernant les carburants pour les transports, l'UE exige que dans chaque Etat membre un pourcentage indicatif du carburant diesel ou de l'essence soit remplacé par des biocarburants (2% en 2005 et 5,75% en 2010). Le but est de diminuer les gaz à effet de serre rejetés par le transport.

(2) Concernant les émissions des moteurs à essence et des moteurs diesel des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers, le règlement CE n° 715/2007 relatif à Euro 5 et Euro 6, adopté le 20 juin 2007, abrogera les vingt-cinq directives en la matière à compter du 2 janvier 2013. La norme Euro 5 est applicable à compter du 1er septembre 2009 pour la réception et à partir du 1er janvier 2011 pour tout ce qui est de l'immatriculation et de la vente des nouveaux types de véhicules légers (source : <http://europa.eu/scadplus/leg/fr/lvb/l21047.htm>). Le stade Euro 5 introduira une limitation des

ii

http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l28077_fr.htm

iii

http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l21061_fr.htm

iv

http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l21047_fr.htm

v

http://europa.eu/legislation_summaries/internal_market/single_market_for_goods/motor_vehicles/interactions_industry_policies/l21223_fr.htm



émissions de PM pour tous les véhicules à essence équipés d'un moteur à injection directe (indiqué comme « DI » dans le tableau 23.2). La norme actuelle ne mesurant que la masse des particules favorise en priorité l'élimination des particules les plus grosses, alors qu'il y a un consensus grandissant que les particules les plus fines sont les plus toxiques. Depuis l'installation quasi-systématique de turbocompresseurs sur les moteurs diesel, les particules rejetées par ces derniers sont devenues plus fines. C'est pourquoi la future norme Euro 6 compte introduire une notion de nombre de particules émises, en plus de la limite de masse (cette démarche devra s'appuyer sur les résultats du « programme de mesure des particules » de la CEE-ONU (indiqué comme PMP dans la note « e » du tableau 23.2).

Tableau 23.2 (*)

Standards d'émission "Euro" en g/km, s'appliquant aux véhicules pour particuliers (catégorie M1)						
Source: www.dieselnet.com						
Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel						
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro 2, DI	1996.01 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Euro 5	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^e
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^e
Petrol (Gasoline)						
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro 5	2009.09 ^b	1.0	0.10 ^c	-	0.06	0.005 ^{d,e}
Euro 6	2014.09	1.0	0.10 ^c	-	0.06	0.005 ^{d,e}

* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N₁ vehicles
† Values in brackets are conformity of production (COP) limits
a - until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)
b - 2011.01 for all models
c - and NMHC = 0.068 g/km
d - applicable only to vehicles using DI engines
e - proposed to be changed to 0.003 g/km using the PMP measurement procedure

(*) Pour rappel : Les « Euro standards » ont introduit de manière progressive des normes d'émission de plus en plus sévères pour la réception CE des nouveaux modèles. Sans cette réception CE, les nouveaux modèles ne peuvent être vendus ni immatriculés dans les Etats membres. Les standards d'émission sont différents selon le type des véhicules (c.-à-d. leur usage et leur poids). Depuis Euro 2, les standards dans la catégorie M1 (véhicules pour particuliers) sont différents pour les véhicules roulant à essence et ceux roulant au diesel (tableau 23.2). Les réductions d'émissions atmosphériques fixées par les normes Euro 1 à 5 concernent quatre polluants principaux: monoxyde de carbone (CO), oxydes d'azote (NOx), hydrocarbures imbrûlés (HC), et spécifiquement pour les véhicules roulant au diesel, les particules.

Pour déterminer la conformité aux normes Euro, les polluants émis sont mesurés durant un cycle de conduite normalisé appelé NEDC ('New European Driving Cycle') qui dure 20 minutes. Il comprend une première phase de conduite typée "ville", suivi d'une phase de conduite plus rapide typée "route". La vitesse moyenne durant ce cycle est de 33 km/h. Les émissions produites durant des conditions de conduite « réelles » sont plus élevées que ne laissent croire les standards.



4.2.4. Directives diverses^{vi} visant à réduire la consommation énergétique

Réduire la consommation d'énergie et prévenir les gaspillages énergétiques sont un objectif majeur de l'Union européenne. Des potentiels de réduction importants existent, en particulier dans les secteurs très consommateurs d'énergie comme ceux des bâtiments. Le chauffage des bâtiments dans le secteur tertiaire et résidentiel est responsable pour plus d'un quart des émissions de particules en suspension (voir point 5). En Belgique, les Régions et le niveau fédéral se concertent en vue de retenir une méthodologie commune pour évaluer l'objectif d'économies d'énergie de 9 % basée sur les bilans énergétiques régionaux.

5. Inventaire des émissions de PM10 primaires en Région de Bruxelles-Capitale

Les particules en suspension font partie des polluants qui sont soumis à des réglementations internationales et pour lesquels les Etats membres établissent un inventaire des émissions sectorielles. Ces inventaires permettent de surveiller l'évolution temporelle de la quantité en masse des polluants par secteur d'activité et d'entreprendre des actions d'assainissement là où elles seront le plus efficaces. Le calcul des émissions atmosphériques est basé sur la méthode Corinair qui est appliquée par tous les Etats membres.

5.1. Les sources d'émissions locales

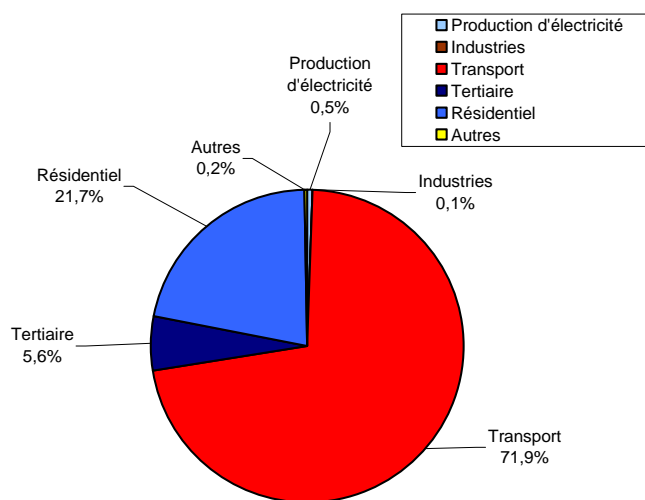
En Région bruxelloise, le secteur du transport constitue la principale source d'émission locale de PM10 (voir Figure 23.3) : il représente 72% des émissions de PM10 en 2007 qui proviennent directement de la combustion du fuel^{vii} des véhicules et correspondent aux particules contenues dans les gaz d'échappements. La consommation énergétique dans les secteurs résidentiel (22%) et tertiaire (6%), contribuent de façon plus marginale aux émissions de PM10.

Pour ressortir un effet maximal sur les émissions des PM10, il y a donc lieu de cibler les mesures restrictives vers le secteur du transport plutôt que vers les deux autres secteurs.

Figure 23.3

Emissions de particules en 2007 par secteur d'activité à Bruxelles

Source : IBGE – Département plan air, climat et énergie : inventaires 2009



5.2. Evolution des émissions locales depuis 1990

La Figure 23.4 montre l'évolution des émissions de PM10 par secteur d'activités entre 1990 et 2007. La catégorie « Production d'électricité » correspond à l'incinérateur de Neder-Over-Heembeek jusqu'en 1996; après cette date, des unités de cogénération sont aussi reprises dans cette catégorie. La catégorie « Transport » correspond à la somme du transport routier, ferroviaire et fluvial. La

^{vi} A la date de la rédaction de la présente fiche, la transposition en droit bruxellois est en cours d'élaboration : un texte générique, appelé COBRACE, vise à transposer diverses directives en matière d'air, d'énergie et de climat.

^{vii} Les autres contributions directes et indirectes du transport ne sont pas reprises dans l'inventaire. Il s'agit des particules résultant de l'usure des freins, des pneus et du revêtement des routes et de celles remises en suspension par le mouvement des véhicules.



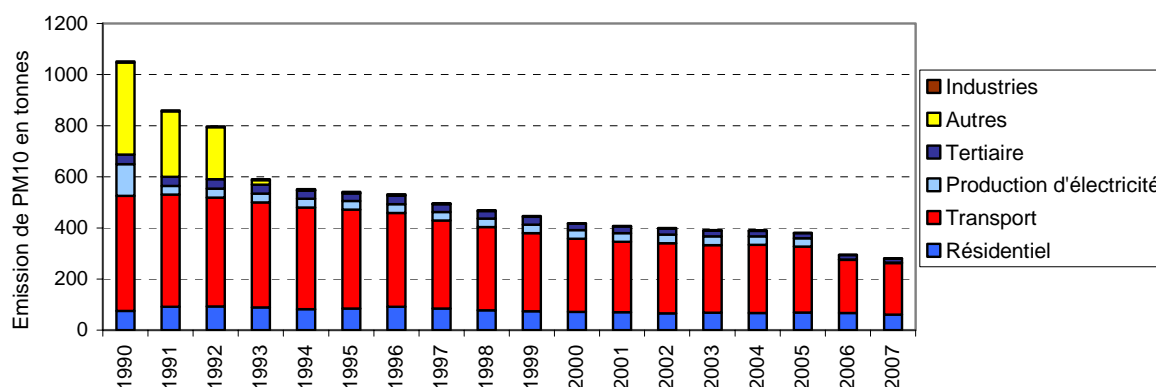
catégorie « Autres » comptabilise les émissions de la cokerie de Marly, l'incinération des produits cliniques et le crématorium.

Il n'existe pas d'objectifs d'émission pour les particules; l'on peut pourtant s'attendre à ce que la mise en oeuvre de la directive NEC (2001/81/EG) aura des effets bénéfiques sur les émissions de PM10 suite à la réduction des précurseurs SO₂, NOx, NH₃

Figure 23.4

Evolution temporelle des émissions de particules fines (PM10 en tonnes) par secteur d'activité à Bruxelles

Source : IBGE – Département plan air, climat et énergie: inventaires 2009



Entre 1990 et 1993, on constate une décroissance substantielle des émissions de PM10: les émissions passent de 1051 de PM10 en 1990 à presque 600 tonnes en 1993, soit une diminution de plus de 40% en seulement 3 ans. Cette diminution est principalement due à la fermeture de la cokerie du Marly en 1993.

Depuis 1993, la diminution se poursuit de manière plus linéaire: les émissions passent de 600 tonnes en 1993 à environ 280 tonnes en 2007, représentant donc également une diminution d'environ 50% mais sur une période de 15 ans. Cette diminution s'est principalement produite dans le domaine du transport routier : dans ce domaine, les émissions passent de 400 tonnes en 1994 à 200 tonnes en 2007 et ce malgré l'augmentation substantielle du trafic. L'amélioration technologique des moteurs des camions et dans une moindre mesure des voitures explique cette amélioration.

Il est à noter que les émissions liées aux tertiaire et au résidentiel sont basées sur le bilan énergétique de la Région^{viii} et corrigées en fonction du nombre de degrés-jours.

6. Surveillance des concentrations de particules dans l'air ambiant

Un réseau de mesure de la qualité de l'air est indispensable pour surveiller les objectifs « santé publique » et pour objectiver les origines des niveaux mesurés.

Depuis la fin des années 1960, la Belgique s'est dotée d'un réseau de mesures qui a évolué au cours du temps, en fonction des découvertes scientifiques et techniques, et des connaissances internationales dans le domaine de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé. Les poussières ont été mesurées à Bruxelles depuis la fin des années 1960 par la méthode des « fumées noires ». A ceci sont venues s'ajouter dès les années 1980, des stations de mesure télémétrique, équipées d'analyseurs de particules (méthode optique par néphélométrie). Les méthodes normalisées actuelles par microbalance oscillante sont utilisées depuis 1996. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont décrites en détails dans IBGE-BIM 2009 (pages 4.77 à 4.80 et pages 12 à 15 de l'annexe A).

Les annexes B à E des rapports techniques réalisés par le Laboratoire de Recherche en Environnement de l'IBGE contiennent l'historique détaillé des résultats des mesures, avec les distributions des fréquences cumulées des valeurs journalières PM10, calculées pour les périodes annuelles, estivales (avril à septembre) et hivernales (octobre à mars).

^{viii} Pour plus d'information : <http://www.bruxellesenvironnement.be/Templates/etat/informer.aspx?id=3220&langtype=2060>



6.1. Mesures télémétriques des PM10 et PM2,5 en Région bruxelloise

6.1.1. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

Depuis 1996, les concentrations des particules PM10 et PM2,5 sont mesurées à l'aide d'un instrument appelé «TEOM 1400Ab (Tapered Element Oscillating Microbalance)». Cet instrument permet de mesurer la concentration en masse de particules appartenant à une fraction bien déterminée. L'air ambiant contenant les particules est aspiré dans l'instrument et les particules se déposent sur un filtre relié à un oscillateur. Le changement de fréquence de cet oscillateur permet de déduire la concentration en masse des particules. La sélection du diamètre des particules se fait à l'aide d'un sélectionneur que l'on ajoute au TEOM. La directive CE exige que les Etats membres démontrent que les résultats obtenus avec les méthodes automatisées de leurs réseaux de mesure sont soit équivalents à ceux qui auraient été obtenus avec la méthode gravimétrique, soit qu'il existe un rapport constant avec la méthode de référence. Des études par la Vlaamse Milieumaatschappij (en 2002 et 2004, et encore en 2006-2007), dans lesquelles les deux méthodes ont été comparées à différents endroits sur différentes périodes, ont proposé un facteur de conversion de 1.47. Ce facteur constitue en réalité une moyenne pour la Belgique. Pour la période 1996-2004, l'évaluation de la qualité de l'air (normes CE, concentration moyenne, nombre de dépassements) a été réalisée sur base de ces données corrigées appelées PM10_EqRef.

$$\text{Les PM10_EqRef} = 1,47 \times \text{PM10_données brutes.}$$

Entre 2004 et 2006, tous les appareils TEOM ont été équipés d'un système FDMS (Filter Dynamics Measurement System), méthode qui - d'après la littérature – donnait une bonne corrélation avec la méthode de référence. En effet, les TEOM PM10_FDMS présentent l'avantage de limiter le réchauffement de l'air, l'air n'est chauffé qu'à 30°C au lieu de 50°C pour les TEOM sans FDMS. De ce fait, les particules volatiles s'évaporent moins et la fraction volatile est quantifiée : ces conditions collent plus étroitement à la réalité physique ce qui permet d'obtenir des résultats directement comparables à ceux de la méthode de référence (sans utiliser de facteur de conversion). Des mesures parallèles entre TEOM-PM10-FDMS et TEOM-PM10 ont été effectuées à Molenbeek et à Avant-Port (résultats voir IBGE-BIM, 2009). À partir de 2005 l'évaluation de la qualité de l'air se fait sur base des données PM10-FDMS.

A l'exception de la tête aspirante qui retient une autre fraction des particules en suspension, les instruments pour mesurer les PM10 et PM2,5 sont les mêmes.

Depuis le 11 juin 2008, date d'entrée en vigueur de la directive 2008/50/CE, les états membres doivent veiller à garantir un taux de disponibilité très élevé (plus de 90%) des mesures de PM10 et PM2,5. Via des campagnes de mesures comparatives entre les moniteurs automatiques (mesurant en continu) et la méthode de référence européenne pour PM10 (échantillonnage sur 24 heures suivi d'une analyse gravimétrique), les Etats membres doivent fournir la preuve de l'équivalence du principe de mesure appliqué dans leur réseau (Demonstration of Equivalence) (VMM 2008) Le respect de toutes ces dispositions requiert plus que jamais un suivi de qualité et une maintenance stricte des appareils de mesures au sein d'un laboratoire de métrologie et de recherche.

6.1.2. Caractéristiques des stations de mesure

Depuis 1994, la Région de Bruxelles-Capitale a complété son réseau de mesures pour mesurer la concentration en masse de différentes fractions des particules : d'abord les PM10 et à partir de fin 1999, les PM2,5.

La Région de Bruxelles-Capitale possède actuellement 6 postes de mesure pour les PM10 et PM2,5 (voir la carte 23.5 et le tableau 23.6). Les appareils qui mesurent les PM2,5 se trouvent aux mêmes endroits que ceux pour les PM10. Les dates de mise en service des différentes stations sont reprises dans les Tableaux 23.7 et 23.8.



Carte 23.5 Stations télémétriques de la Région de Bruxelles-Capitale qui mesurent la concentration des particules PM10 et PM2,5 dans l'air ambiant

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009

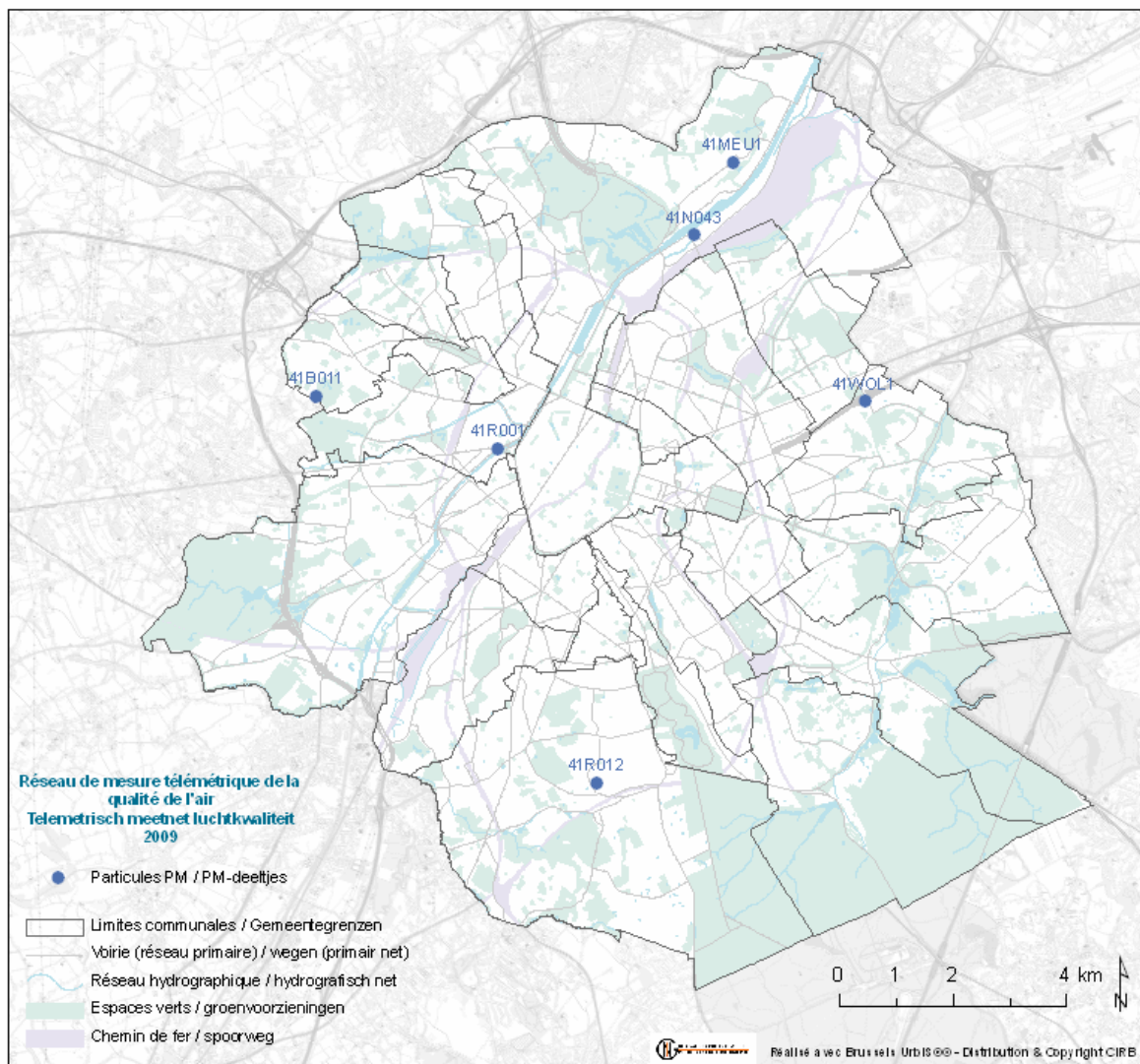




Tableau 23.6

Réseau téléométrique de la Région de Bruxelles-Capitale: code, adresse et typologie des stations de mesure			
Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009			
Code	Adresse	Commune	Station est représentative pour un environnement (...)
41B003	Arts-Loi	Bruxelles	à trafic intense sur carrefour important (station expérimentale)
41B011	Maricolles	Berchem-St.-Agathe	à caractère résidentiel (pollution urbaine de fond)
41B005	Eastman-Belliard	Bruxelles	suburbain (district européen, situé dans un parc)
41N043	Avant-Port	Bruxelles / Haren	à caractère industriel avec trafic
41R002	Couronne	Ixelles	à trafic intense dans « canyon street »
41R001	Ecluse 11	Molenbeek-St.-Jean	à trafic intense avec habitations et activités industrielles
41MEU1	Parc Meudon	Bxl / Neder-Over-Heembeek	à caractère résidentiel, proche d'un zoning industriel
41B006	Parlement UE	Bruxelles	suburbain (district européen, situé dans une zone piétonnière)
41B004	Quai aux Briques	Bruxelles	à caractère commercial avec habitations et trafic
41R012	IRM-KMI	Uccle	à caractère résidentiel (pollution urbaine de fond)
41WOL1/2	Gulledelle	Woluwe-St.-Lambert	très ouvert à trafic intense
stations équipées d'instruments pour mesurer la concentration des particules fines (PM10) et très fines (PM2,5) dans l'air ambiant			

Tableau 23.7

Réseau téléométrique de la Région de Bruxelles-Capitale: adresse des stations qui mesurent les PM10, méthode de mesure, début et de fin des mesures					
Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009					
TEOM - PM10					
Stations	PM10_EqRef (1,47)		PM10_FDMS		
	Début	Fin	Début	Fin	
Maricolles Berchem	3/05/1999	13/07/2005	14/07/2005		En cours
Avant-Port Bxl-Haren	4/12/1997	18/01/2006	9/09/2004		En cours
P. Meudon Bxl-NOH	10/11/1999	13/07/2005	5/04/2007		En cours
Ecluse 11 Molenbeek	12/12/1996	11/01/2006	9/09/2003		En cours
IRM-KMI Ukkel	15/04/1996	10/05/2004	12/05/2004		En cours
Gulledelle Woluwe	10/01/2001	28/02/2005	11/03/2005		En cours

TEOM = Tapered Element Oscillating Microbalance
 Les TEOM PM10_Eq sont les anciens instruments de mesure qui ont été convertis progressivement en TEOM_FDMS. Ces derniers sont équipés d'un "Filter Dynamics Measurement System"

Tableau 23.8

Réseau téléométrique de la Région de Bruxelles-Capitale: adresse des stations qui mesurent les PM2,5, méthode de mesure, début et de fin des mesure					
Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009					
TEOM - PM2,5					
Stations	PM2,5_Eq		PM2,5_FDMS		
	Début	Fin	Début	Fin	
Maricolles Berchem			11/10/2007		En cours
Avant-Port Bxl-Haren	20/07/2000	11/05/2004	21/01/2006		En cours
P. Meudon Bxl-NOH	12/11/1999	31/03/2007	27/07/2005		En cours
Ecluse 11 Molenbeek	1/07/2000	31/08/2003	14/01/2006		En cours
IRM-KMI Ukkel			21/03/2006		En cours
Gulledelle Woluwe	–	–	–		–

TEOM = Tapered Element Oscillating Microbalance
 Les TEOM PM2,5_Eq et TEOM_FDMS sont les instruments de mesure sans FDMS et avec FDMS (Filter Dynamics Measurement System), respectivement



Le réseau de stations de mesure des PM_{2,5} s'est mis en place plus tard que celui des PM₁₀ du fait que l'Union Européenne a d'abord mis l'accent sur les mesures de PM₁₀ qui paraissaient à cette époque un bon indicateur de protection pour la santé. Par la suite, il s'est avéré que les particules les plus nocives pour l'organisme sont les particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm.

Le Laboratoire de Recherche de l'IBGE-BIM a commencé à mesurer les PM_{2,5} en octobre 1999, au Parc Meudon à Neder-Over-Heembeek. A partir de mi-2005, les moniteurs TEOM ont été remplacés par des TEOM FDMS pour une meilleure prise en compte de la fraction volatile des PM_{2,5} et donc une précision renforcée de la mesure de la concentration en masse des PM_{2,5}.

La Région de Bruxelles-Capitale possède désormais des séries de mesure homogènes de PM_{2,5} dans 5 points de mesure :

- depuis mi-2005 pour la station à Neder-Over-Heembeek au Parc Meudon,
- depuis début 2006 pour les stations à Molenbeek, Uccle et Avant-Port
- et depuis mi-2007 à Berchem-St-Agathe (voir Tableau 23.8).

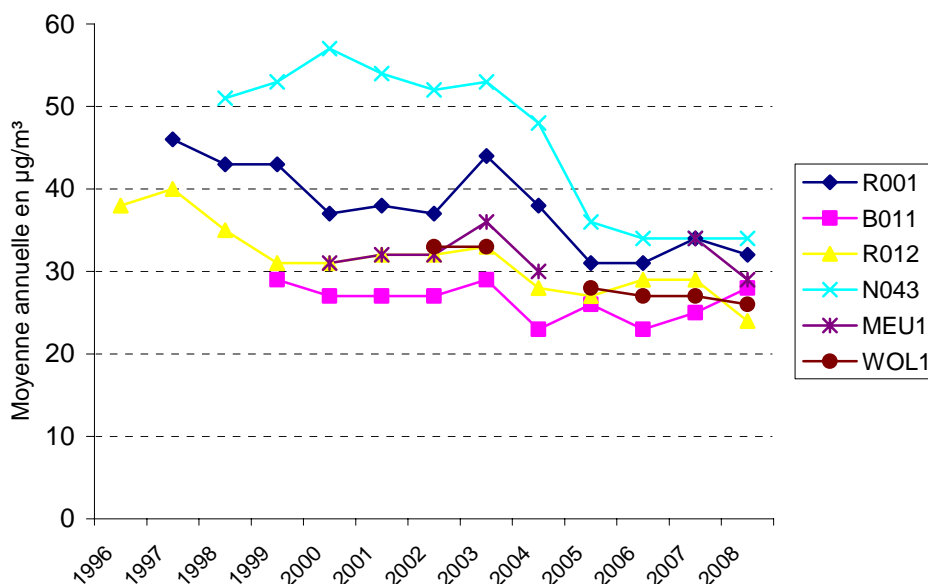
6.1.3. Evolution à moyen et à long terme des concentrations de PM₁₀

Une comparaison des moyennes annuelles et du 98ème centile (calculés sur base des concentrations journalières) indique que les valeurs les plus élevées pour les années 1996 à 2008 sont mesurées dans le poste de mesure Avant-Port (N043), suivi par celui de Molenbeek (R001). Les valeurs élevées à Avant-Port s'expliquent par la localisation, un environnement à proximité de sources industrielles (entre autres stockage et manutention de matériaux de construction) et d'un trafic dense de poids lourds. Les valeurs observées à Uccle (R012), St-Agatha-Berchem (B011), Neder-Over-Heembeek (MEU1) et Woluwe (WOL1) sont nettement plus basses.

Figure 23.9

Evolution de la concentration moyenne annuelle en PM₁₀ dans les stations télémétriques (1996-2008)

Source : IBGE, Dép. Plan air, climat et énergie, 2009



Pour la période couvrant les années civiles 1997 à 2008, les résultats de Molenbeek-R001 (voir figure 23.9) indiquent une légère tendance à la baisse pour la moyenne annuelle et pour les centiles les plus élevés. Au poste Avant-Port (N043), cette tendance à la baisse ne se remarque qu'à partir de 2003. La remontée relative des concentrations moyennes en 2003 est liée à l'été particulièrement chaud et sec.

Des tests d'inter-comparaison entre les différentes méthodes de mesure ont permis de déterminer des facteurs de conversion qui ont été appliqués aux séries historiques de la période 1981 à 2008: l'évolution des concentrations estimées en PM₁₀ dans les postes de Molenbeek et Avant-Port montre



que les moyennes annuelles de PM10 de ces dernières années n'atteignent plus que la moitié de celles estimées pour le début des années 1980.

Les roses de pollution calculées sur base des valeurs semi-horaires (série de données homogène de la période 2005-2008) indiquent que la concentration moyenne en PM10 est légèrement plus élevée lorsque le vent souffle des secteurs Est (IBGE-BIM 2009).

6.1.4. Evolution à moyen terme des concentrations en PM2,5

Les séries temporelles pour les PM2,5 ne sont pas mesurées depuis suffisamment longtemps pour permettre d'en déduire une tendance claire.

Les roses de pollution basées sur les valeurs semi-horaires indiquent une concentration moyenne en PM2,5 légèrement plus élevée lorsque le vent souffle du secteur Sud-Est comme c'est le cas pour les PM10 (IBGE-BIM 2009).

6.2. Mesures avec analyse différée des fumées noires en RBC

6.2.1. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

Malgré le fait que la législation actuelle se base sur la fraction PM10, l'IBGE continue à mesurer les fumées noires, afin de suivre l'évolution de leurs concentrations en Région bruxelloise.

Lors de la prise d'échantillon, l'air est aspiré avec un débit constant à travers un "piège" qui retient le polluant. La prise d'échantillons sur site est automatisée. Après la collecte des échantillons (filtres), l'analyse est effectuée en laboratoire. Il ne s'agit donc pas d'une mesure en temps réel, comme pour les PM10 ou les PM2,5 ; l'analyse de l'aspect dynamique de la pollution n'est donc pas possible.

La méthode dite des « fumées noires » établissait initialement un rapport entre le degré de noirceur suite au dépôt de poussières recueillies lors du passage de l'air à travers un papier filtre et la concentration massique des particules dans l'air. Dans les années 1960, l'OCDE a proposé une procédure standard afin d'arriver à une technique d'échantillonnage avec une bonne reproductibilité et une courbe d'étalonnage internationalement acceptée : à l'aide d'une échelle standardisée, on calcule la concentration d'un polluant - qui peut être considéré comme "fumée standard" - à partir de la concentration superficielle, de la surface de la tache sur le filtre, et du débit total échantillonné.

6.2.2. Caractéristiques des stations de mesure

Jusqu'en 1994, la surveillance des concentrations des fumées noires était basée sur les mesures de 12 stations situées en Région de Bruxelles-Capitale et aux alentours. Depuis que l'exploitation des réseaux de surveillance de la qualité de l'air a été attribuée aux trois régions, l'IBGE continue à exploiter seulement trois stations de mesure (voir tableau 23.10).

La station d'Uccle (2FR012) est représentative pour les concentrations de fond en Région de Bruxelles-Capitale. Les stations à Ixelles (2FR002) et Molenbeek (2FR001) sont représentatives pour un environnement largement influencé par le trafic routier.

Tableau 23.10

Réseau pour l'analyse différée des fumées noires dans la Région de Bruxelles-Capitale		
Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009		
Stations	Début des mesures	Fin des mesures
2FR002 (Ixelles)	Avril 1994	En cours
2FR012 (Uccle)	Novembre 2000	En cours
2FR001 (Molenbeek)	Avril 2008	En cours

6.2.3. Evolution sur le long terme des concentrations de fumées noires en RBC

Jusqu'à la fin des années '70, les concentrations de fumées noires ont diminué suite à une moindre utilisation de charbon et de mazout pour l'industrie et le chauffage domestique (voir figure 23.11). L'augmentation de la concentration entre 1996 et 1998 est due à la démolition de l'hôpital militaire, un chantier qui a causé d'importantes émissions de particules, qui ont fortement influencé les valeurs

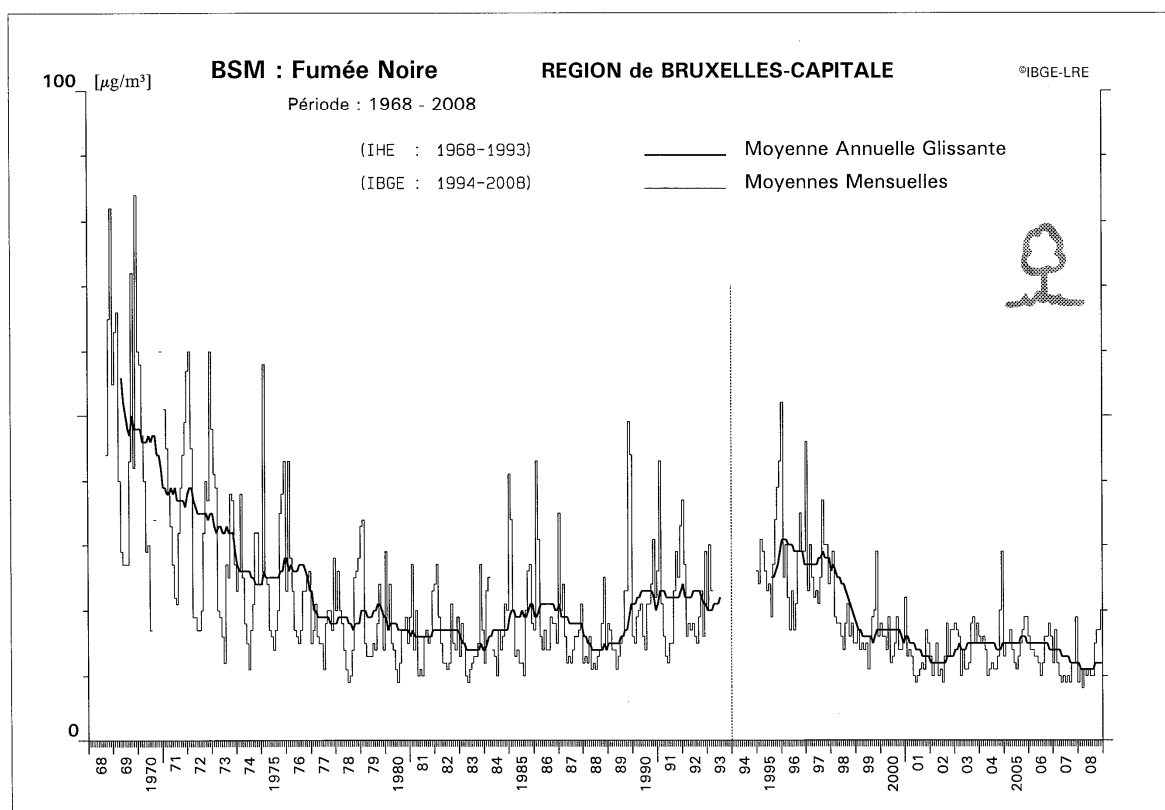


enregistrées à la station de mesure avoisinante d'Ixelles (2FR002). Depuis 2000, après une diminution initiale, les concentrations des fumées noires se sont stabilisées.

Ces résultats sont néanmoins à prendre avec certaines réserves : jusqu'en 1994, la moyenne mensuelle des fumées noires était calculées sur 12 stations de mesure situées en Région de Bruxelles-Capitale et aux alentours. Depuis 1994, le réseau bruxellois de mesures ne comprend plus que trois stations et la proportion de stations situées dans un environnement «trafic» a augmenté. Ceci n'est pas sans influencer les valeurs mesurées. La comparaison entre les concentrations avant et après 1994, s'en trouve par conséquent biaisée.

Figure 23.11

Moyennes mensuelles de la concentration des fumées noires de 1968 à mars 2008
(attention, le nombre de stations qui était de 12 en 1968, a passé à 3 à partir de 1994)
Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009



Jusqu'au 1^{er} janvier 2005, la directive 80/779/CE était d'application : elle imposait que la moyenne annuelle des concentrations de fumées noires (mesurées comme des valeurs journalières) ne dépasse pas les 80 µg/m³. Comme le montre la figure 23.11, cette norme « santé fumée noire » n'a jamais été dépassée. Depuis le 1^{er} janvier 2005, la directive des fumées noires a été abrogée par la directive 1999/30/CE qui dicte des normes en termes de particules PM10. Dans la Région de Bruxelles-Capitale où l'on continue à mesurer les fumées noires en plus des PM10, le seuil pour les fumées noires de 80µg/m³ est utilisé comme un seuil de référence.

7. Analyse du respect des normes « santé » en RBC

Les normes santé sont reprises dans le tableau 23.1 qui récapitule les différents seuils européens pour les particules fines et très fines.

7.1. Respect de la norme journalière

7.1.1. Les PM10



Depuis le 1er janvier 2005, la directive 1999/30/CE autorise un maximum annuel de 35 dépassements du seuil journalier de 50 µg/m³. Autrement dit, par an il ne peut y avoir que maximum 35 jours où la concentration moyenne journalière dépasse 50 µg/m³.

Le tableau 23.12 indique le nombre de jours avec dépassement depuis l'année 1997. Les cases colorées indiquent que le nombre annuel de dépassements se situe au-delà des 35 jours autorisés.

Tableau 23.12

Nombre de jours avec dépassement de la concentration journalière moyenne** de 50 µg/m ³ pour les PM10: depuis 1/1/2005, la valeur limite « santé » autorise au maximum 35 dépassements par an												
Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement												
Station de mesure	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Berchem (41B011)				21	16	19	29	5	17	17	30	25
Avant-port (41N043)		152	160	164	152	152	159	125	66	56	68	66
Bxl-NOH (41MEU1)				31	48	43	64	25	(...)	(...)	46	33
Molenbeek (41R001)	112	100	106	61	73	74	105	69	42	40	65	44
Uccle (41R012)	72	56	27	24	36	39	42	18	23	25	42	15
Woluwe (41WOL1)						35	40	(...)	24	29	37	23
	**	les moyennes journalières ont été calculées sur base des valeurs semi horaires										
	(...)	mesures interrompues: nombre insuffisant de données										
		année où la norme pour la protection de la santé humaine a été dépassée										

En 2007, seule la station de Berchem respecte la norme. On constate que le dépassement de la norme se produit chaque année à Avant-Port et à Molenbeek, de façon plus occasionnelle à Uccle et Woluwe. Bien que Woluwe est une « station trafic » (proximité de l'autoroute), le caractère ouvert de l'environnement fait qu'elle subit moins les effets des émissions du transport. De plus, il n'y a pas d'activités industrielles comme à Avant-Port et à Molenbeek. Depuis 2004, le nombre de dépassements à Avant-Port a significativement diminué grâce à la mise en place de mesures locales : les tas de sable doivent être couverts par des bâches et par temps sec, ils sont humidifiés.

Pour les années où la norme est dépassée au niveau de la Région, l'IBGE fait parvenir à la Commission européenne, un rapport appelé « Plan against PM10 exceedances under the air quality Framework Directive 1996/62/EC ». Ces plans constituent une obligation annuelle imposée par la directive européenne 1999/30/CE du 22 avril 1999 (voir fiche air n° 3). La directive fixe aussi les méthodes et les critères communs qui sont nécessaires pour permettre d'évaluer les concentrations. Les plans doivent décrire la situation ainsi que les mesures mises en place ou planifiées pour éviter les dépassements, ou pour limiter leur durée. Le premier plan bruxellois de ce genre a été publié en 2003, il concernait les dépassements constatés en 2001. Le dernier en date explique les dépassements, constatés en 2005 et 2006, pour les PM10 (IBGE-BIM, 2007b). Un nouveau rapport sera nécessaire au sujet des dépassements observés en 2007 et 2008.

Divers phénomènes liés à des conditions météorologiques particulières ont été mis en cause pour expliquer les dépassements constatés en 2005 et 2006 (IBGE-BIM, 2007b, pages 23 à 28). Avec les années, la compréhension des processus liés aux PM a avancé : le point 9.2 qui donne un aperçu des causes probables des dépassements en Région bruxelloise, reflète la connaissance actuelle.

7.2. Respect de la norme annuelle

7.2.1. Les PM10

Le tableau 23.13 donne les concentrations moyennes annuelles en PM10 depuis 1997, par station. Les moyennes annuelles sont obtenues en calculant la moyenne des concentrations journalières au cours d'une année calendrier (du 1er janvier au 31 décembre).

Depuis le 1er janvier 2005, les concentrations moyennes annuelles ne peuvent plus excéder la valeur limite de 40 µg/m³.



Tableau 23.13

Moyennes annuelles des concentrations en PM10 dans la Région de Bruxelles-Capitale: la valeur limite "santé" à ne pas dépasser correspond à 40 µg/m³**

Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement

Station de mesure	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Berchem (41B011)			29	27	27	27	29	23	26	23	25	28
Avant-port (41N043)		51	53	57	54	52	53	48	36	34	34	34
Bxl-NOH (41MEU1)				31	32	32	36	30	(...)	(...)	34	29
Molenbeek (41R001)	46	43	43	37	38	37	44	38	31	31	34	32
Uccle (41R012)	40	35	31	31	32	32	33	28	27	29	29	24
Woluwe (41WOL1)						33	33	(...)	28	27	27	26
	**	les moyennes annuelles ont été calculées sur base des moyennes journalières										
	(...)	mesures interrompues: nombre insuffisant de données										
		année où la norme pour la protection de la santé humaine a été dépassée										

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées à Avant-Port, station sous l'influence d'une circulation intense, un environnement à proximité de sources industrielles (entre autres stockage et manutention de matériaux de construction).

Depuis 2005, la norme en vigueur est respectée dans toutes les stations bruxelloises. Depuis 2004, la moyenne annuelle à Avant-Port a significativement diminué du fait de la mise en place de mesures locales (voir explication pour la norme journalière).

Dans tous les postes de mesures, y compris les postes servant à mesurer les niveaux de fond (Uccle et Berchem), la concentration moyenne annuelle excède toutefois - à quelles rares exceptions près - les 25µg/m³, valeur qui correspond à l'objectif 2015 pour les PM2,5.

7.2.2. Les PM2,5

Conscient que les particules les plus nocives sont celles dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5µm, le Parlement européen a adopté la directive 2008/50/EC qui oblige à surveiller depuis le 11 juin 2008 la concentration des particules PM2,5 dans l'air ambiant. Pour les dix ans à venir, la directive prévoit des objectifs progressivement plus sévères dans le temps. De plus, pour la première fois, un objectif « santé » est formulé en termes « d'exposition » de la population dans les zones urbaines (voir tableau 23.1). Le tableau 23.14 ci-dessous clarifie comment il faut appliquer la marge de dépassement : elle est de 20% le 11 juin 2008 diminuant le 1^{er} janvier suivant puis tous les 12 mois par tranches annuelles égales, pour atteindre 0% au 01/01/2015.

Tableau 23.14

Valeurs limites "santé publique" pour les PM2,5			
Source: Directive 2008/50/CE, Annex XIV			
Période de calcul de la moyenne	Valeur Limite	Valeur limite + Marge de dépassement en µg/m ³	Date à laquelle la valeur limite doit être respectée
STADE 1			
Année civile	25 µg/m ³	juin 2008: 25 + 5 = 30 01/01/2009: 25 + (5 - 0,71) = 29,29 01/01/2010: 25 + (5 - 2 x 0,71) = 28,58 (...) 01/01/2014: 25 + (5 - 6 x 0,71) = 25,74 01/01/2015: 25 + (5 - 7 x 0,71) = 25	1 ^{er} janvier 2015
STADE 2⁽¹⁾			
Année civile	20 µg/m ³		1 ^{er} janvier 2020
(1) Stade 2 : La valeur limite indicative sera révisée par la Commission en 2013 à la lumière des informations complémentaires sur l'impact sanitaire et environnemental, la faisabilité technique et l'expérience acquise en matière de valeur cible dans les Etats membres			



Sur base des données recueillies jusqu'à présent, la valeur cible de 25 µg/m³ pour la moyenne annuelle pourra probablement être respectée (cette concentration deviendra la norme à partir de 2015). Il est encore trop tôt pour se prononcer sur le respect à l'horizon 2020 de la valeur limite indicative de 20 µg/m³.

Dans une publication de la Région flamande consacrée aux particules fines (MMK, 2009), les 'Medisch Milieukundigen' du 'Lokaal Gezondheidsoverleg' déplorent le fait que les normes UE « santé » pour la fraction PM_{2,5} soient exprimées en masse (µg/m³), alors que le poids est peu pertinent pour les particules ultrafines et nanoparticules. Cette remarque est partagée par plusieurs équipes de recherche qui ne trouvent pas pertinentes les unités utilisées pour définir les normes « santé » (WHO 2003).. La surface totale et le nombre total des particules semblent des paramètres plus pertinents du point de vue 'protection de la santé'. Voir aussi points 8.4, 8.5, 8.9 et 11.

7.3. Pronostic quant au respect des normes

Afin d'estimer l'ampleur des mesures à prendre pour obtenir un meilleur respect des normes, nous avons vérifié le niveau de pollution pendant les weekends (ce qui représente 104 jours par an) et compté le nombre de dépassements qui tombaient un jour de samedi ou de dimanche. Pour chaque année, ce nombre de « dépassements weekend » a été multiplié par 3,5 afin d'extrapoler la situation weekend à une année de 365 jours (règle de proportionnalité).

Les deux figures ci-dessous concernent la période 2000-2008 : la figure 23.15 correspond à la situation réelle, la figure 23.16 montre le résultat de l'application de la règle de proportionnalité.

Force est de constater que même en réduisant systématiquement les activités émettrices moyennes de la région au niveau des jours de weekend – ce qui représente quand même une diminution draconienne - il y a toujours un risque réel dans certains endroits de la Région d'avoir plus de 35 jours de dépassements (concentration moyenne journalière > 50 µg/m³).

Figure 23.15

Source : IBGE-BIM 2009 (Laboratoire de recherche en environnement, rapport 2006-2008)

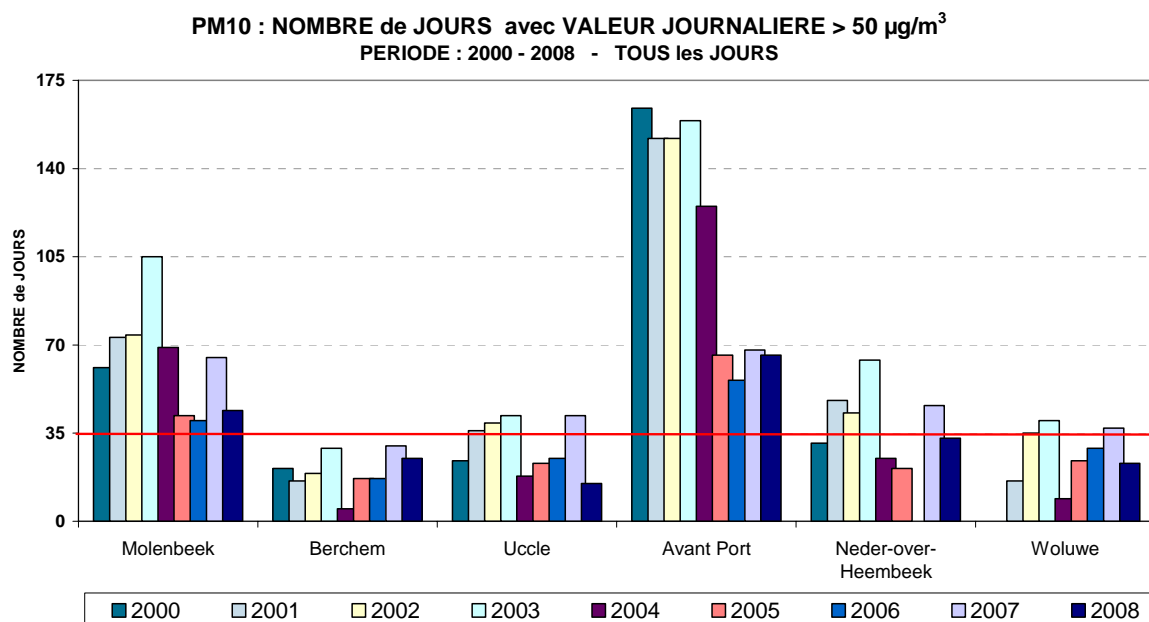
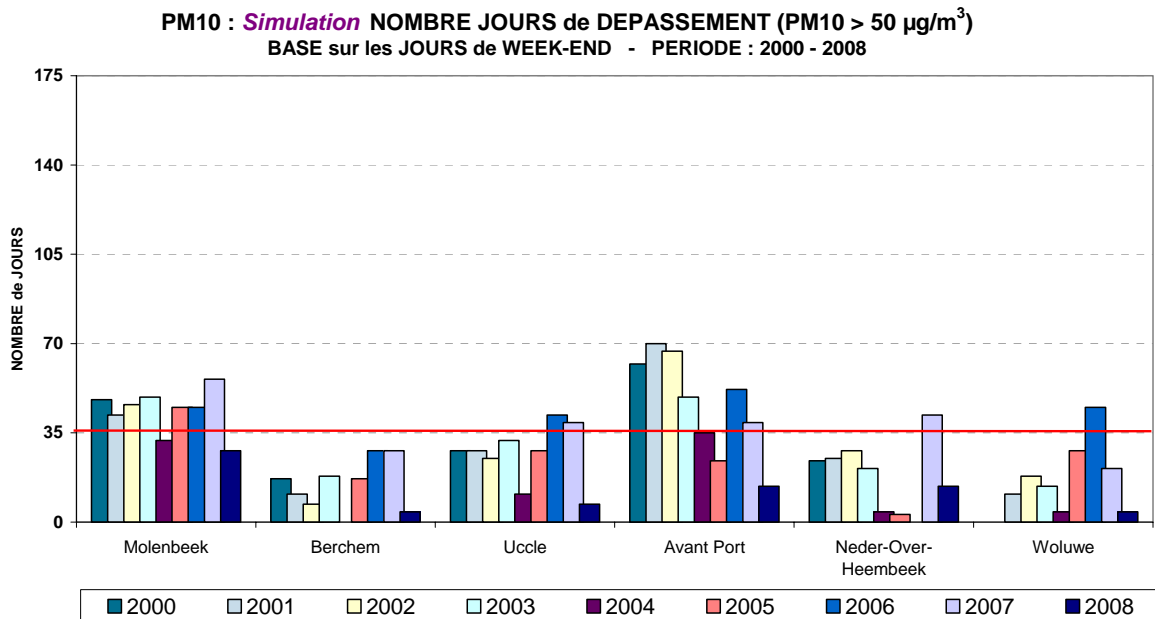




Figure 23.16 :

Source : IBGE-BIM 2009 (Laboratoire de recherche en environnement, rapport 2006-2008)



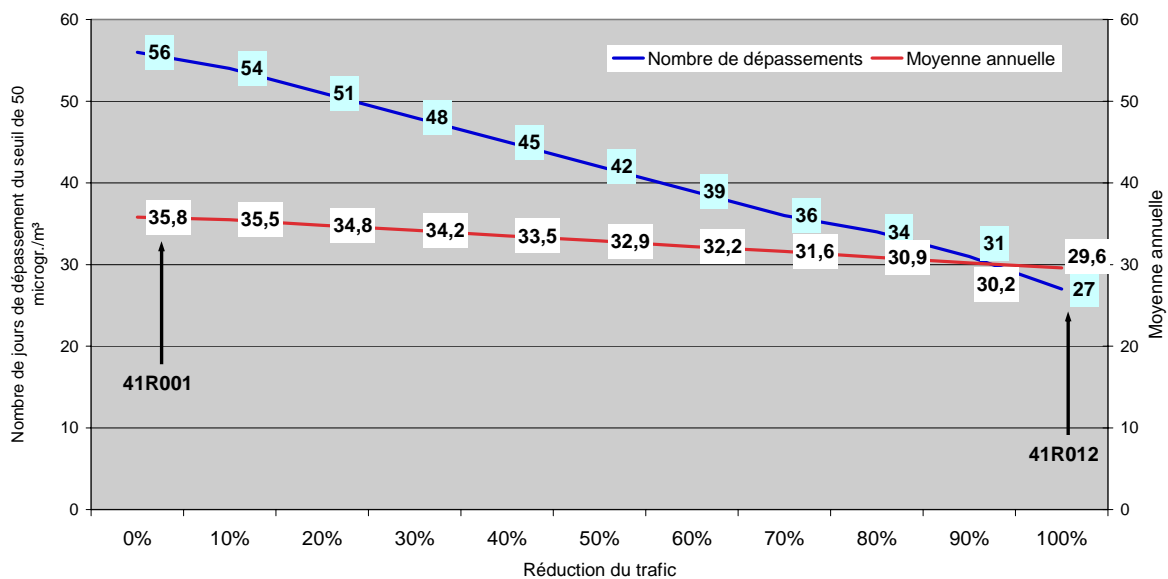
Dans le cadre de l'étude des incidences environnementales du plan d'urgence en cas de pics de pollution (IBGE-BIM 2008b), un calcul partant du nombre moyen de dépassements par an à 41R012-Uccle (27) et à 41R001-Molenbeek (56) pendant la période 2000-2007 a permis d'estimer quel serait l'impact d'une réduction du trafic sur le respect de la norme. La figure 23.17 montre que, pour se maintenir en deçà des 35 jours autorisés de dépassement du seuil journalier de 50 µg/m³ à Molenbeek-St-Jean, il conviendrait de réduire les émissions du trafic de 70 à 80%. Ce taux de réduction du trafic pourrait être revu à la baisse dans l'hypothèse d'une diminution de la pollution urbaine de fond et/ou de la contribution du transport transrégional de particules.

Figure 23.17

Estimation de l'impact d'une réduction de trafic sur le nombre de jours de dépassement du seuil journalier pour PM10 de 50 µg/m³ (axe Y primaire) et sur la concentration moyenne annuelle de PM10 (axe Y secondaire) à la station de Molenbeek (41R001)

Source : IBGE-BIM, 2008b

La réduction de trafic est indiquée sur l'axe X et évolue entre 0 (pas de réduction) et 100% (trafic banni). L'étude s'est basée sur les valeurs de mesure des années 2000 à 2007. 41R012 correspond à la station d'Uccle





Le respect de la norme journalière de 50 µg/m³ pour PM₁₀ pose problème même dans un environnement relativement protégé des émissions du trafic (comme la station de mesure à Uccle).

Au poste de mesure Avant-Port ou dans un environnement similaire (ville + industrie + trafic), le dépassement de la norme est systématique. Le nombre de jours avec dépassement (maximum 35 par an) ne pourra certainement pas être respecté à court terme.

Pour parvenir à respecter la norme journalière de PM₁₀ par des mesures locales, il faudrait réduire la circulation dans la Région bien en-deça des niveaux actuels des weekends.

Pour plus d'information, voir le point 8.6 pour savoir quelles sont les conditions météo qui caractérisent les jours de dépassements, le point 8.7 est consacré à la pollution de fond et au transport transrégional des PM₁₀ et le point 9.2 expose les différentes causes de dépassement de la norme.

8. Objectivation des teneurs en particules dans l'air ambiant

8.1. Les effets de proximité des activités urbaines sur les particules

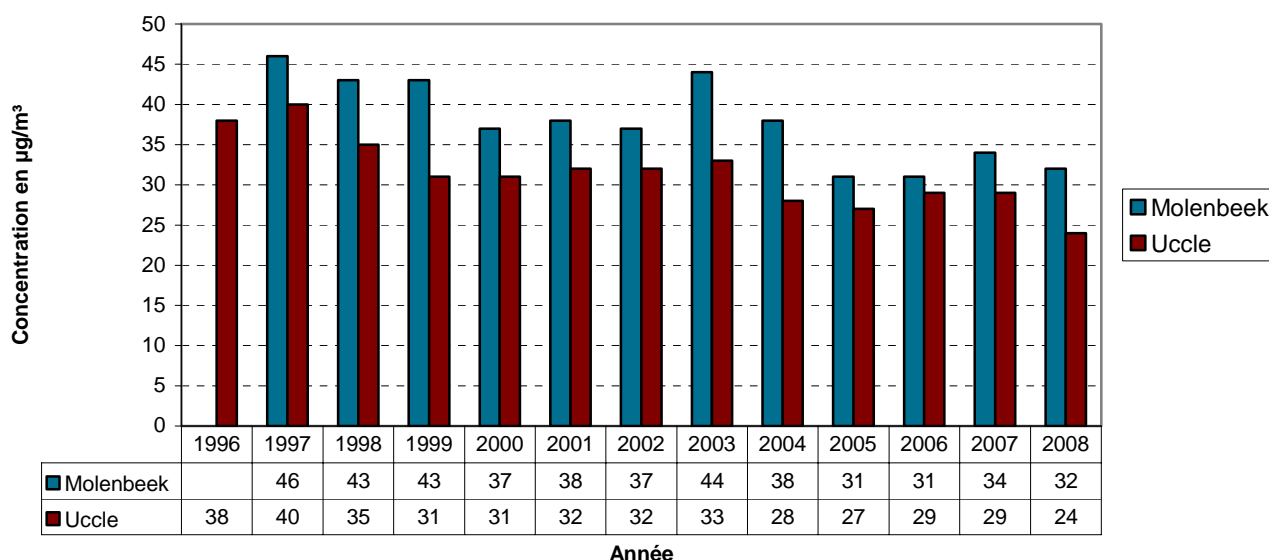
Les résultats des postes de mesure de Molenbeek (R001) et surtout Avant-Port (N043) montrent une pollution plus importante à proximité de l'axe industriel et commercial de la Région (voir p.ex. la figure 23.15).

La figure 23.18 compare les concentrations moyennes annuelles de PM₁₀ enregistrées à Molenbeek (centre ville) et à Uccle (périphérie urbaine). Elle montre que les moyennes au centre ville sont systématiquement plus élevées : le gradient des concentrations entre le centre et le quartier périphérique varie entre 6 et 26% et est de 18% en moyenne. Ceci tend à indiquer qu'en moyenne 18% du montant des concentrations en PM₁₀ mesurées serait lié aux émissions (toutes sources confondues) de la Région.

Figure 23.18

Comparaison de la concentration moyenne annuelle en PM₁₀ mesurée dans une station au centre ville (Molenbeek-R001) et en périphérie urbaine (Uccle-R012)

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement et Département plan air, climat et énergie, 2009



8.2. Evaluation de l'importance du trafic routier : effet du weekend sur les particules

L'effet du weekend consiste en une réduction substantielle de la circulation les journées du samedi et du dimanche.

8.2.1. Fumées noires



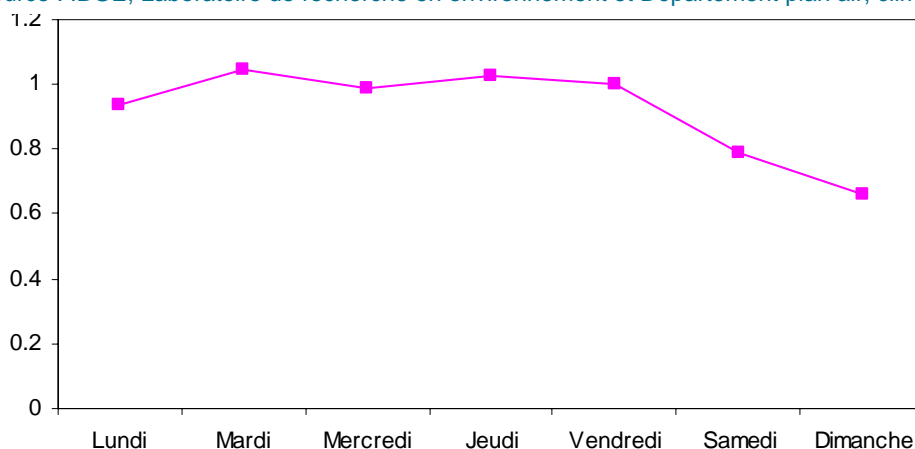
La figure 23.19 montre le profil hebdomadaire des concentrations normalisées des fumées noires à la station d'Ixelles pour la période 1994-2007. Ce profil hebdomadaire normalisé est obtenu en calculant la concentration moyenne pour chaque jour de la semaine (moyennes des lundis, moyennes des mardis, etc) et en divisant la valeur obtenue par la concentration moyenne des jours ouvrables. Les résultats ainsi obtenus sont proches de 1,00 pour les jours ouvrables. Le pourcentage de réduction des concentrations pendant le weekend peut être lu directement sur le graphique.

Dans cet environnement à trafic dense, on constate que les concentrations moyennes sont plus élevées les jours ouvrables que les jours non ouvrables. Les concentrations en masse des fumées noires sont plus réduites le dimanche (-34 %) que le samedi (- 21 %), cette réduction pourrait correspondre à la baisse de la circulation entre les dimanches et les samedis.

Figure 23.19

Profil hebdomadaire moyen normalisé des concentrations en masse des fumées noires (calculé sur base des mesures effectuées dans la station 2FROO2 à Ixelles pendant les années 1994 à 2007 et normalisé vis-à-vis de la concentration moyenne des jours ouvrables)

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement et Département plan air, climat et énergie, 2009



8.2.2. PM10 et PM2,5

La figure 23.20 représente le profil hebdomadaire normalisé pour les paramètres PM10-FDMS, PM2,5-FDMS, NO et NO₂, et permet de comparer le comportement des particules en suspension à celui de 2 polluants gazeux associés aux émissions du transport routier. Le calcul est identique que pour les fumées noires (figure 23.19). Pour minimiser les éventuels effets d'une période spéciale, les moyennes ont été calculées sur 3 années calendrier consécutives (2006 à 2008) et pour tous les postes de mesure de PM10 à l'exception de Avant-Port. Le résultat est donc représentatif pour les différents types de pollution urbaine.

Une comparaison des pourcentages de réduction (tableau 23.20) montre que la baisse du trafic pendant les deux jours de week-end induit une diminution très nette des concentrations en oxydes d'azote (qui est particulièrement forte pour le NO) et une baisse beaucoup moins prononcée pour les particules fines. La chute des concentrations en NO est du même ordre de grandeur que la diminution des concentrations mesurées constatée dans les postes de mesure trafic (Arts-Loi-N043 et Couronne-R002) et correspond à l'ordre de grandeur de la diminution de l'intensité du trafic le weekend. Le NO₂ est un polluant partiellement lié au trafic, mais aussi un polluant secondaire qui se forme dans l'atmosphère, principalement par l'oxydation du NO par l'ozone. De plus, le NO₂ est thermodynamiquement le composé le plus stable des oxydes d'azote, de sorte qu'une concentration minimale de NO₂ est présente partout et en permanence.



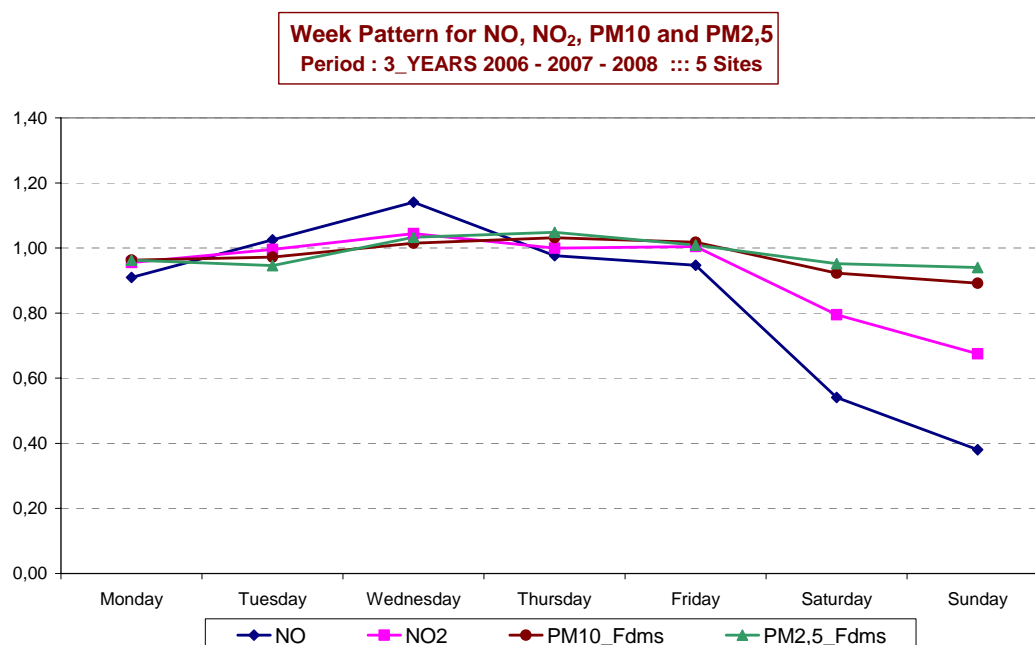
Tableau 23.20

Pourcentage de réduction des concentrations de PM10, PM2,5, NO ₂ et NO par rapport aux concentrations observées lors d'un jour ouvrable (années calendrier 2006, 2007, 2008 - moyenne spatiale des stations B011, MEU1, R001, R012 et WOL1)		
Polluant	Samedi	Dimanche
NO	-48%	-60%
NO ₂	-20%	-33%
PM10_FDMS	-8%	-12%
PM2,5_FDMS	-5%	-5%

Figure 23.21 : Profil hebdomadaire moyen normalisé des concentrations en PM10, PM2,5, NO₂ et NO - moyenne sur 5 postes de mesure et normalisation sur base des jours ouvrables

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (IBGE -BIM 2009)

Les stations télémétriques prises en compte sont Berchem (B011), Molenbeek (R001), Ixelles (R002), Uccle (R012) et Woluwe (WOL1/2)



Les pourcentages du tableau représentent des valeurs moyennes pour la Région. Localement, les concentrations présentes dans l'air peuvent différer sensiblement. Soulignons aussi qu'en 2006, il y avait proportionnellement plus de dépassements en PM le weekend, qu'en semaine. Ces circonstances exceptionnelles de l'année 2006 ont dès lors contribué à rabaisser davantage les pourcentages de réduction pour les PM.

Une analyse des pourcentages de réduction pendant les périodes hivernales des années 2000 à 2007 (IBGE-BIM 2008b, § 4.1.1.1.1) montre qu'en Région bruxelloise la suppression totale du trafic conduit à une réduction de 80% des concentrations de NO, alors que la réduction de trafic au cours d'un dimanche moyen occasionne une diminution de 55% des concentrations de NO. Si on applique aux PM10 la règle de proportionnalité entre les concentrations de NO observées le dimanche (-55%) et celles estimées en l'absence de trafic (-80%), on peut en déduire que le trafic contribue à hauteur d'environ 23% aux concentrations de PM10, avec une variation de 9 à 32% suivant les stations considérées.

Conclusion

La diminution relativement importante du trafic pendant les weekends (qui se reflète dans la chute spectaculaire de NO) n'induit manifestement pas une réduction équivalente des concentrations de



NO₂, PM₁₀ et PM_{2,5}. Pour les polluants NO₂, PM₁₀ et PM_{2,5} seulement une partie de la concentration localement mesurée peut donc être attribuée aux émissions locales de la Région. Par contre, la concentration de fond, déjà présente dans l'air qui arrive sur la ville, n'est pas négligeable par rapport à la concentration totale mesurée en ville.

L'importance des concentrations de fond en PM₁₀ est discuté davantage dans le point 8.7.

Les différences entre l'évolution dynamique des concentrations des PM celles du NO et NO₂ sont davantage documentées dans les points 8.3 et 8.4.

8.3. Evaluation de l'importance du trafic routier : effet des journées sans voiture sur les PM

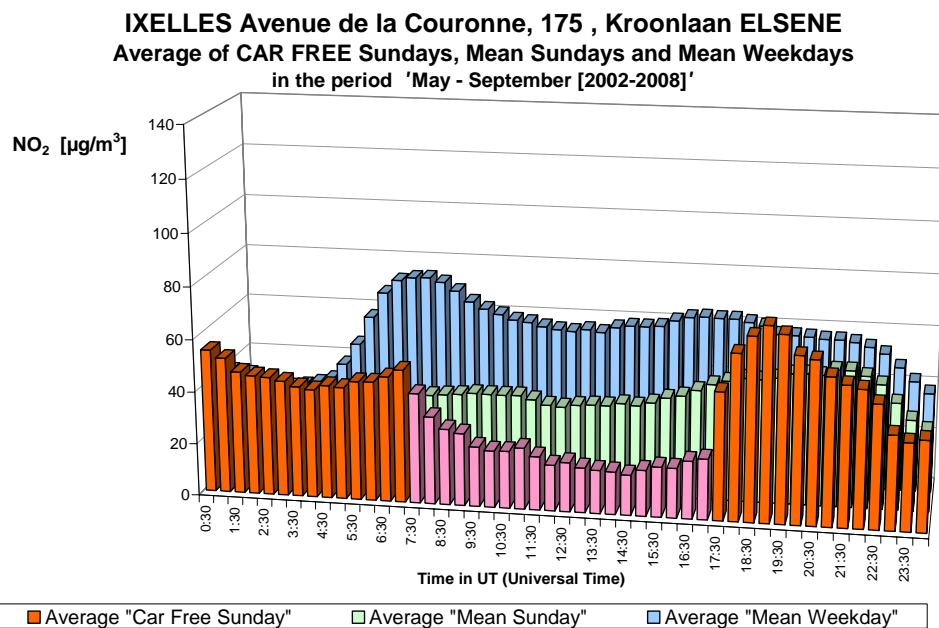
Depuis 2002, la « journée sans voitures » est organisée sur l'entièreté du territoire de la Région bruxelloise. Le dimanche de la Semaine européenne de la Mobilité, le trafic motorisé est (presque) complètement interdit de 9 à 19 heures. Bien que cette initiative soit menée un dimanche et non pas un jour ouvrable où les émissions du trafic sont maximales, et que l'interdiction de la circulation ne commence qu'à partir de 9 heures au moment où la turbulence (suite au réchauffement) favorise la dispersion, la journée sans voitures constitue un événement intéressant pour évaluer l'influence du trafic sur certains polluants.

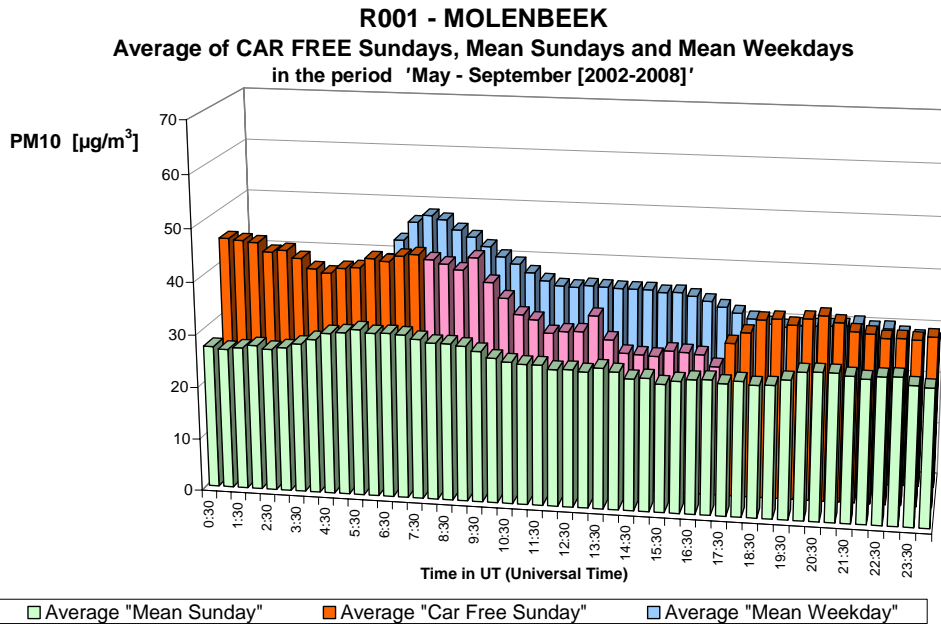
Les mesures de qualité de l'air effectuées durant ces journées font l'objet d'un rapport annuel de Bruxelles Environnement. Dans l'édition 2008 de ce rapport (IBGE-BIM 2008a), des graphiques par station de mesure et par polluant comparent les concentrations moyennes horaires des 7 «dimanches sans voiture» (2002-2008), avec celles observées pendant tous les dimanches et tous les jours de semaine de la période mai-septembre des années 2002 à 2008. Les différences de concentrations les plus importantes sont observées pour les oxydes d'azote (NO_x) et le monoxyde de carbone (CO) : dans tous les postes de mesures, les concentrations de ces polluants décroissent assez rapidement dès que le trafic est restreint. La baisse de ces concentrations est particulièrement prononcée au niveau des stations fortement exposées au trafic routier. La figure 23.22 illustre la situation pour le NO₂ à la station de Ixelles qui est du type «canyon street», la figure 23.23 la situation pour les PM₁₀ à Molenbeek.

Figure 23.22 et Figure 23.23
Concentrations en NO₂ et PM₁₀ pour un « dimanche sans voitures » moyen (orange et rose), un « dimanche normal » moyen (vert clair) et un « jour ouvrable » moyen (bleu)

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (IBGE -BIM 2009)

Les calculs sont basés sur les valeurs enregistrées à R002-Ixelles (NO₂) et R001-Molenbeek (PM₁₀) respectivement, pour la période de mai à septembre des années 2002 à 2008



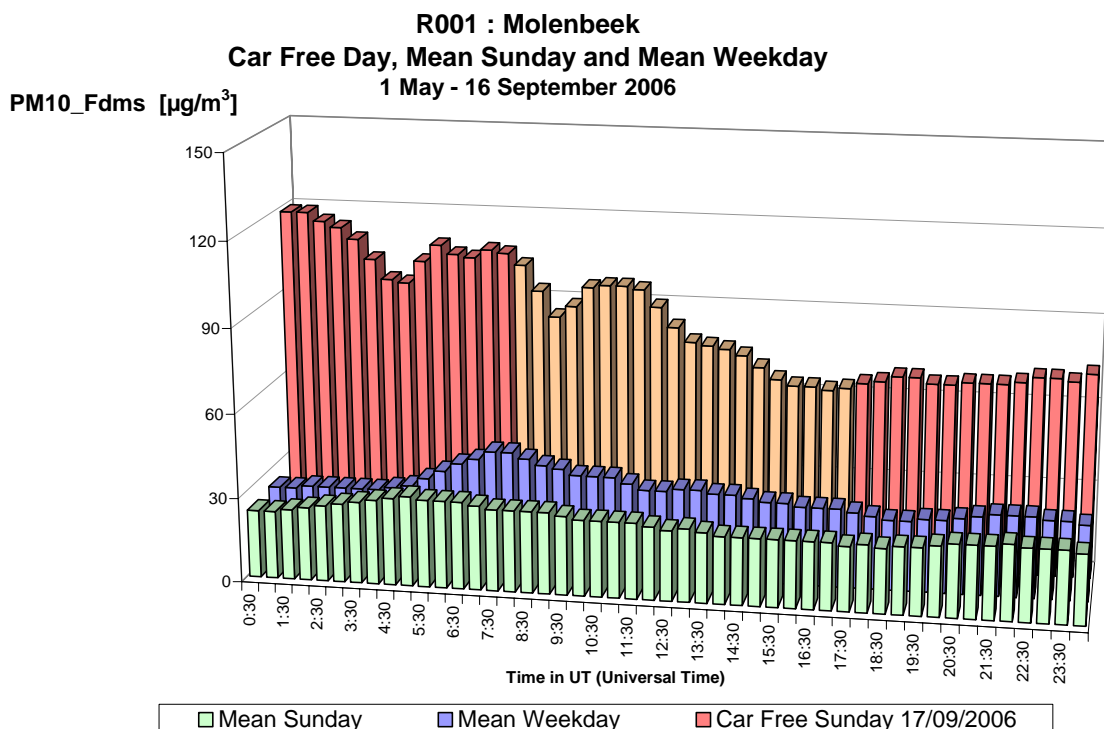


Le graphique pour les concentrations en PM10 (fig.23.23) offre une toute autre image que le graphique pour les NO₂ (fig.23.22) : dans le cas des PM10, le début et la fin des heures sans trafic ne sont pas clairement démarqués. La concentration moyenne des 7 dimanches sans trafic atteint le même niveau, si pas plus, que lors d'un dimanche ou d'un jour ouvrable moyen. La pollution lors des dimanches sans trafic est seulement un peu moins élevée que lors des «jours de semaine moyens».

Un exemple encore plus parlant est celui du dimanche sans voiture en 2006, comme illustré par la figure 23.24 : les concentrations sont jusqu'à trois fois supérieures à celles d'un dimanche ordinaire ou d'un jour de semaine ordinaire (IBGE-BIM 2009, p.4.107-109). Chose remarquable : bien qu'il n'y eut pas de trafic ce jour-là, les concentrations des PM10 dépassaient la norme journalière.

Figure 23.24 : Dimanche sans voitures du 17 septembre 2006 à R001-Molenbeek : concentrations de PM10 pour un « dimanche sans voitures » moyen (orange et maïs), un « dimanche normal » moyen (vert clair) et un « jour ouvrable » moyen (bleu)

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (IBGE -BIM 2009)





La présence de particules fines à des concentrations élevées lors de journées caractérisées par un trafic quasi nul, une quasi absence de chauffage et une contribution limitée des activités commerciales et industrielles, indique l'influence d'autres conditions qui dominent ou masquent les émissions urbaines.

Une mise en garde est cependant à sa place ici (voir aussi le point 10): même en l'absence d'une relation directement proportionnelle entre les concentrations mesurées en PM et les émissions « locales » du trafic routier, il est très important de réduire la circulation locale car ceci réduit non seulement la fraction des particules les plus dangereuses pour la santé (résidus de combustion du diesel) à proximité des usagers de la voie publique, mais diminue les émissions d'autres polluants dont les NOx qui se transforment en HNO₃, précurseur des particules secondaires. L'impact du trafic local sur la composition des PM est développé davantage dans le point 8.8.

8.4. La formation d'aérosols secondaires

Par des températures modérées (8-20°C) et une forte humidité (~90% d'humidité relative), en présence d'ammoniac (NH₃), il y a formation de sels d'ammonium (principalement du nitrate d'ammonium) qui peuvent engendrer de hautes concentrations journalières de PM10 et PM2,5. Dans ces circonstances, la fraction PM2,5 représente 80 à 90% de la masse des PM10. Le système de mesure FDMS montre la présence d'une fraction volatile associée en quasi exclusivité à la fraction PM2,5. L'analyse des prélèvements sur filtre montre la présence d'ammonium, de nitrates et de sulfates.

Lors des jours caractérisés par la formation d'aérosols secondaires, on constate qu'il y a une moins bonne relation entre l'évolution des concentrations en PM et celle des polluants gazeux NO, NO₂, CO et CO₂.

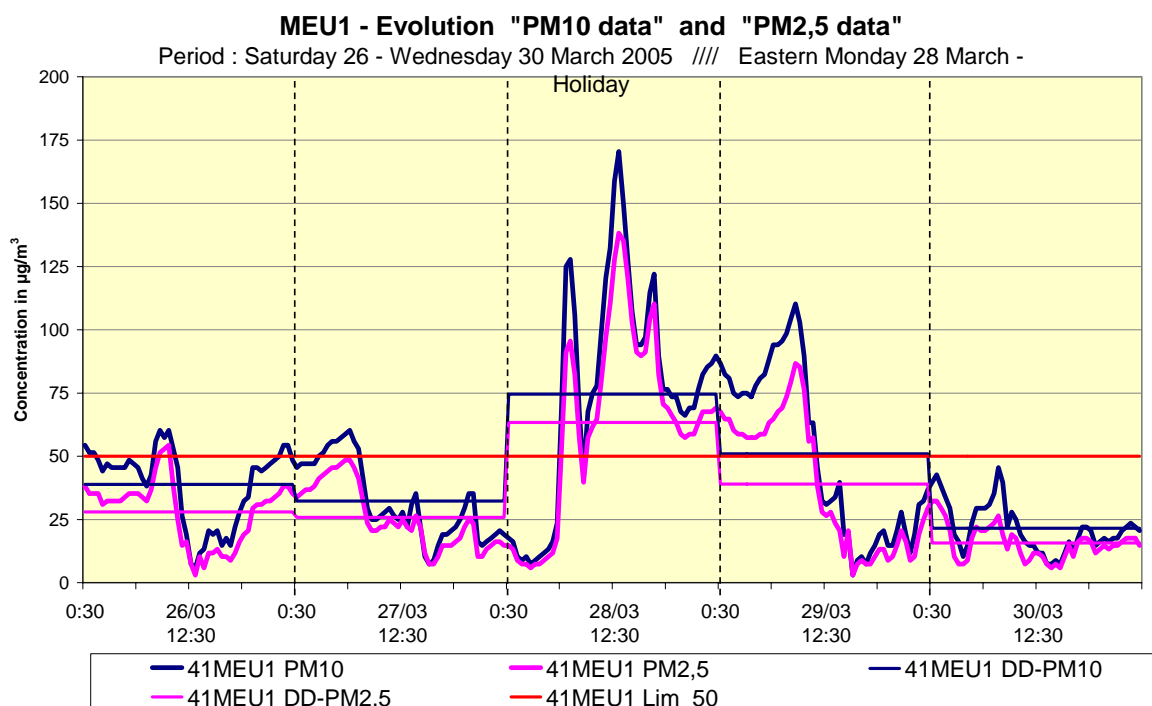
La formation et la persistance d'aérosols secondaires est étroitement liée aux conditions météorologiques. Si dans le courant de l'après-midi, la température augmente (> 25°C) et que l'humidité relative diminue sensiblement (<60% HR), l'aérosol secondaire peut repasser en phase gazeuse. A la tombée du jour, quand la température diminue et que l'humidité s'accroît, les aérosols secondaires peuvent se reformer. Il est même possible d'observer à l'œil nu la pollution par les particules secondaires très fines: en fixant le regard sur l'horizon, on peut voir comment la visibilité change au cours de la journée.

Les fortes concentrations de PM10 et PM2,5 dues à la présence d'aérosols secondaires sont totalement indépendantes des activités urbaines : elles s'observent notamment aussi les jours où le trafic est faible (congés, week-end) et lorsque les émissions dues au chauffage et aux activités commerciales et industrielles sont très réduites. Le rapport du laboratoire de l'IBGE consacré aux immissions de 2003-2005 (IBGE-BIM 2006) illustre quelques exemples typiques de ce phénomène, tels que le lundi de Pâques 28 mars 2005 (jour férié officiel) et les 7 et 8 février 2005 (congé de carnaval). Dans ces deux cas, où toutes les activités émettrices de la ville étaient pourtant réduites, les concentrations en PM10 étaient supérieures à la normale, tandis que les concentrations des polluants gazeux n'étaient pas anormalement élevées. Comme le montre la figure 23.25, la concentration en masse des PM10 était presque entièrement constituée de PM2,5 ce lundi de Pâques 2005 et, bien qu'il s'agissait d'un jour férié, les concentrations dépassaient la norme.



Figure 23.25 : Poste de mesure de Neder-Over-Heembeek (MEU1): Évolution des valeurs semi horaires en PM10, PM2,5 – Évolution des valeurs journalières PM10 et PM2,5 – Période : samedi 26 mars 2005 à mercredi 30 mars 2005

Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (IBGE-BIM 2006)



Le rapport de l'IBGE sur les immissions en 2006-2008 (IBGE-BIM 2009) décrit comment des conditions similaires sont observées lors du dimanche sans voitures du 17 septembre 2006, et également de façon récurrente pendant le mois d'avril 2007.

Ci-dessous, une sélection de la documentation abondante du 17 sept. 2006 : l'évolution dynamique des gaz NO et NO₂ (fig.23.27) est totalement différente de celle des particules (fig.23.26). Le troisième graph (fig.23.28) montre une évolution dynamique très semblable pour les concentrations en PM10 respectivement PM2,5 dans différents postes de mesure, qu'ils soient situés bien en dehors de la Région bruxelloise (Anvers et à Malines) ou à l'intérieur de la Région (Molenbeek, Uccle, Avant-Port et Neder-Over-Heembeek). Des mesures complémentaires effectuées au poste de mesure d'Uccle confirment une présence accrue en nitrates, sulfates et ammonium dans la fraction solide des particules : la masse totale en nitrates et sulfates représente environ un tiers de la masse totale des PM10 mesurés ce jour-là. Le quatrième graph (fig.23.29) illustre à quel point l'évolution dynamique des PM2,5 est identique dans 4 environnements urbains différents, lorsqu'un accroissement progressif des concentrations se met en place sous l'effet de la formation d'aérosols secondaires.



Figure 23.26 : Poste de mesure de Molenbeek (R001) : Évolution valeurs semi horaires en PM10, PM2,5 et de la masse volatile de deux fractions (VO10 et VO2,5) – Évolution des valeurs journalières PM10 et PM2,5 - Période: jeudi 14 à mardi 19 septembre 2006
 Source : Vanderstraeten et al (2009)

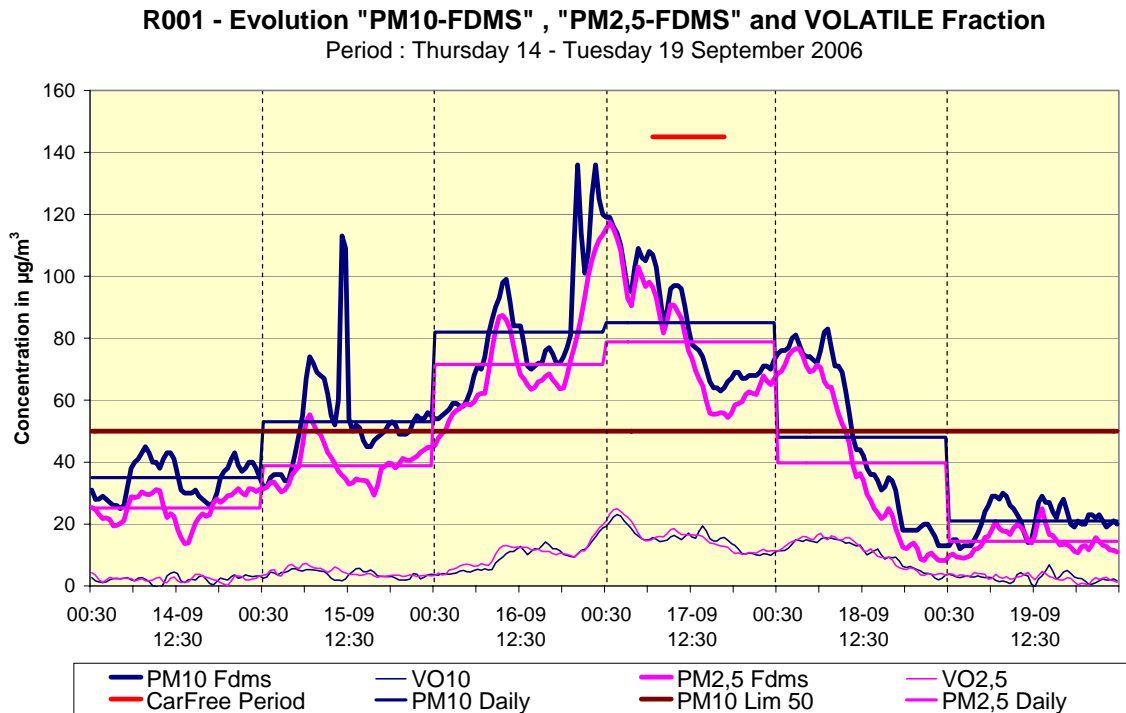


Figure 23.27 : Postes de mesure d'Ixelles (R002) et de Molenbeek (R001) – Évolution valeurs semi horaires en NO et NO₂ durant la période de jeudi 14 à mardi 19 septembre 2006
 Source : Vanderstraeten et al (2009)

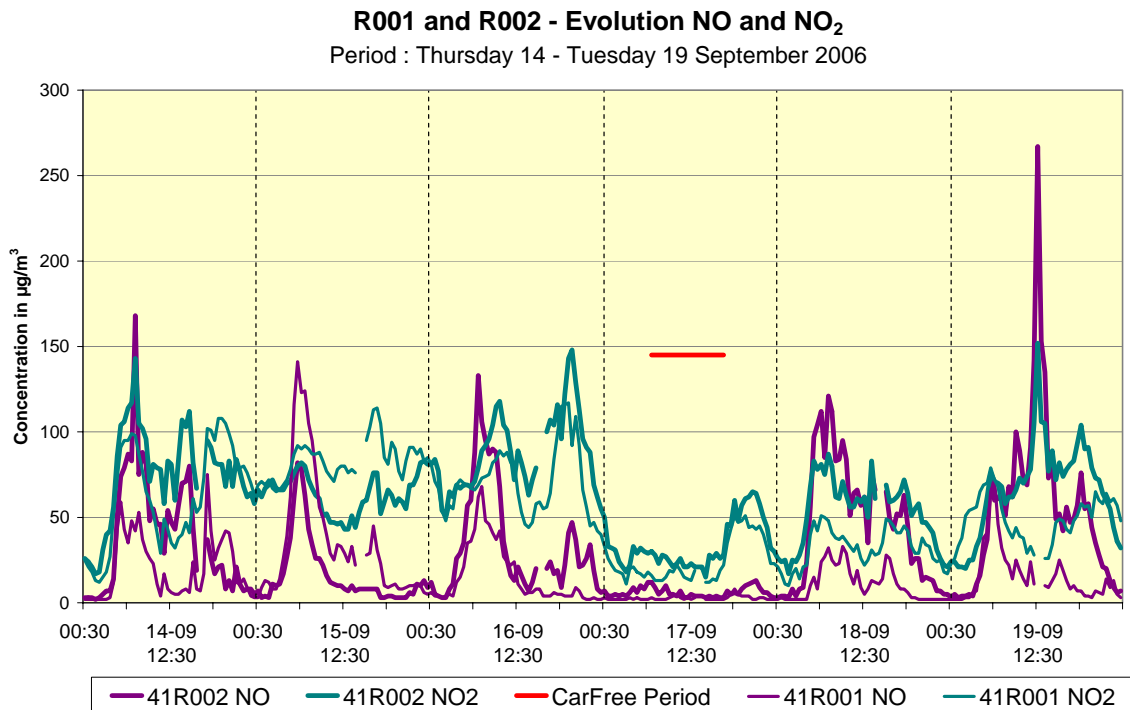




Figure 23.28 : Évolution des valeurs semi horaires en PM10 durant la période 14-19 septembre 2006 : comparaison des niveaux PM10 entre différents postes de mesure à Bruxelles (R001-Molenbeek, B011-Berchem, R012-Uccle et N043-Avant-Port) et les postes de mesure à Malines (40ML01) et Anvers – Borgerhout (40R801)

Source : Vanderstraeten et al (2009)

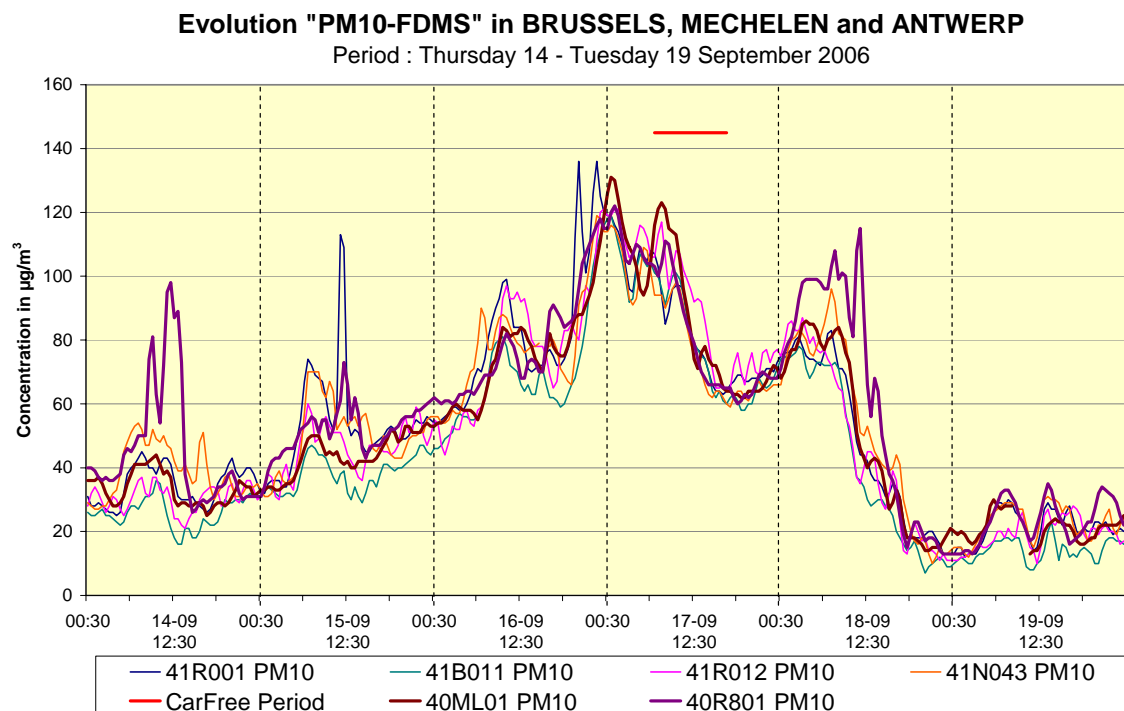
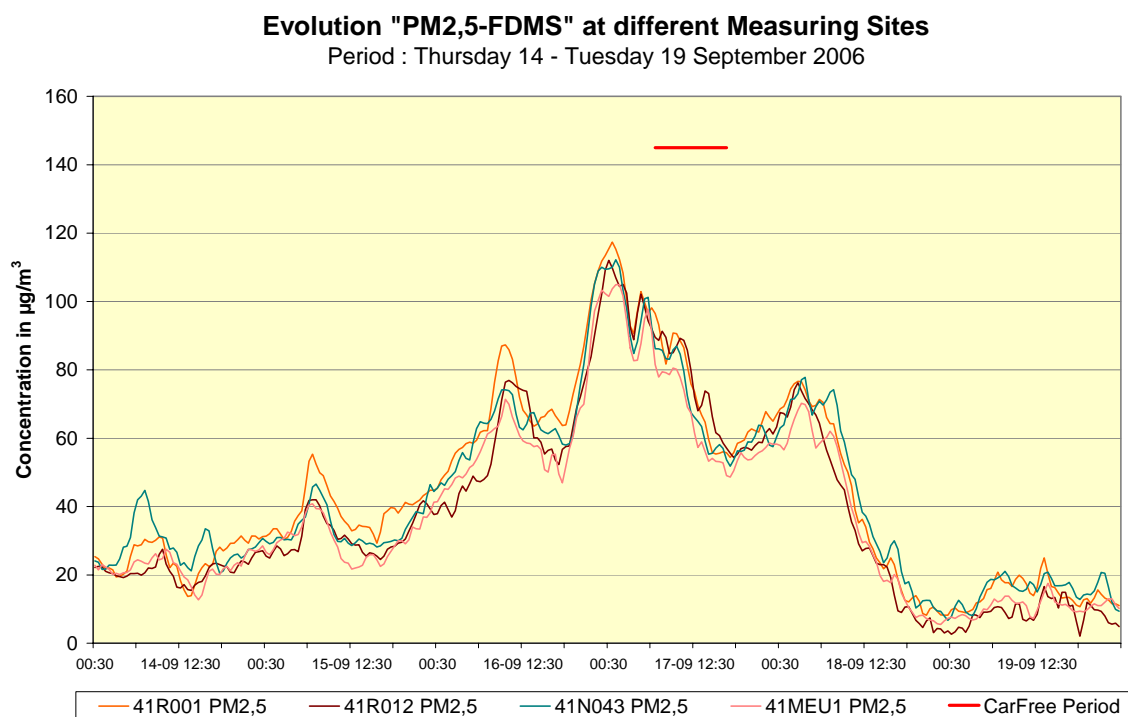


Figure 23.29 : Évolution des valeurs semi horaires en PM2,5 durant la période 14-19 septembre 2006 : comparaison des niveaux PM2,5 à Molenbeek (R001), Uccle (R012), Avant-Port (N043) et Neder-over-Heembeek (MEU1)

Source : Vanderstraeten et al (2009)





Phénomènes qui accompagnent la formation excessive de particules secondaires :

L'accroissement progressif des concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5}, le comportement d'évolution dynamique différent entre PM et polluants gazeux, la présence de concentrations élevées en PM dans une zone étendue ainsi que la présence de concentrations élevées de sels d'ammonium indiquent clairement que les concentrations élevées en PM sont en grande partie liées à un tout autre phénomène que les émissions directes de particules du trafic ou d'autres sources locales.

Conditions favorables à la formation d'aérosols secondaires (processus de nucléation) :

Le processus de nucléation requiert en plus des conditions météorologiques particulières (température modérée entre 8 et 20°C et HR élevée de ~90%) la présence massive d'ammoniac. Dans le cas de la Région bruxelloise, il faut chercher la source de l'ammoniac dans les activités agricoles qui ont lieu dans les régions limitrophes (épendage du lisier). La présence de particules secondaires est observée couramment pendant les mois de mars/avril et septembre/octobre (Vanderstraeten et al 2009 et IBGE-BIM 2009) à condition cependant que ces mois ne soient pas trop pluvieux.

8.5. Le rapport entre PM_{2,5} et PM₁₀ en Région bruxelloise

Le rapport entre la masse des PM_{2,5} et la masse des PM₁₀ a été calculé pour trois sélections de jours différentes:

- une première sélection correspond à l'ensemble des jours de l'année,
- une deuxième sélection reprend tous les jours de l'année où la concentration journalière des PM₁₀ a dépassé les 50 µg/m³,
- la troisième sélection ne comprend que les jours de dépassement non ouvrables.

Ce calcul a été appliqué à trois postes de mesure (R001-Molenbeek, N043-Avant-Port et R012-Uccle) et à trois années successives (2006, 2007 et 2008). Les résultats (pourcentages) se trouvent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 23.30

Rapport (en %) entre les concentrations PM_{2,5} et les concentrations PM₁₀ mesurées en trois stations: calculs pour trois sélections de jours en 2006, 2007 et 2008 respectivement
Source: IBGE, Laboratoire de Recherche en Environnement, 2009

	R001 - Molenbeek			R012 - Uccle			N043 - Avant-port		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Tous les jours de l'année	76,5	72,4	70,6	58,6	71,4	75,4	71,2	77,1	62,9
Que les jours avec un dépassement PM₁₀	86	78,1	72,9	74	78,7	80,8	77	76,6	58,2
Que jours non-ouvrables avec dépassement PM₁₀	90,2	82,6	78,9	80,2	79,1	87,5	88,5	83,4	76,9

Il s'avère qu'en moyenne sur ces 3 années, la proportion de PM_{2,5} ne descend qu'exceptionnellement en-dessous de 70% ; autrement dit, en moyenne 70% de la masse des particules PM₁₀ mesurées ont un diamètre inférieur à 2,5 µm. La figure 23.31 montre à quel point la proportion des PM_{2,5} reste élevée indépendamment de la saison dans ces 3 stations bruxelloises malgré leur localisation dans des environnements urbains pourtant fort différents : au cours de l'année 2007, la proportion moyenne de PM_{2,5} n'est jamais descendue en-dessous de 50 %.

Pour les postes de mesure de Molenbeek et d'Uccle, on constate que le rapport PM_{2,5}/PM₁₀ durant les jours de dépassement PM₁₀ est plus élevé que pour la moyenne de tous les jours et que ce rapport est encore plus élevé lorsqu'il s'agit de jours de dépassement coïncidant avec des jours non ouvrables. Ceci est une indication que la formation d'aérosols secondaires (résultant en une fraction PM_{2,5} plus importante) est un facteur non négligeable pour expliquer un grand nombre des dépassements en PM₁₀ dans la Région de Bruxelles-Capitale.

Pour le poste Avant-Port situé dans un environnement industriel à trafic lourd, on ne note pas de différence significative entre les rapports PM_{2,5}/PM₁₀ pour la sélection 'tous les jours' et la sélection

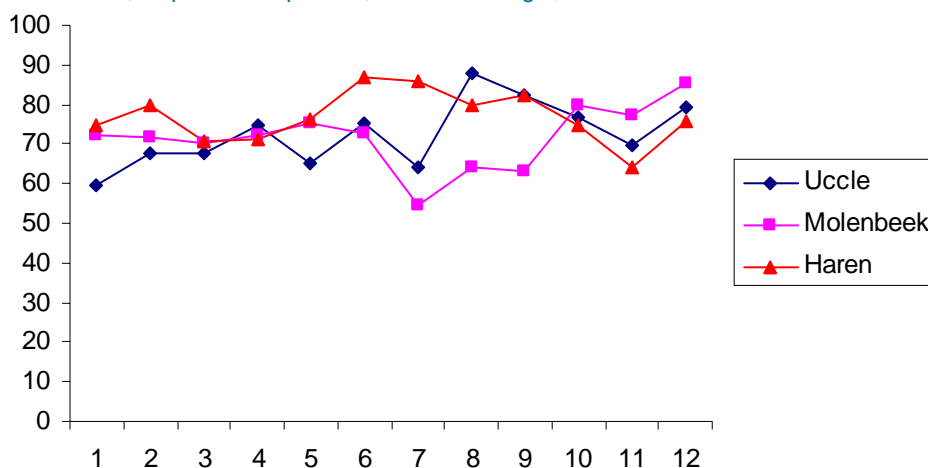


'tous les jours avec dépassement PM10'. Vu la typologie de la station, un plus grand nombre de jours de dépassement résultent de la présence d'une fraction plus grosse (entre 2,5 et 10 μm), lorsque des masses d'air sec viennent des secteurs Est. La sélection des 'jours de dépassement non ouvrables', par contre, se caractérise à nouveau par un rapport PM2,5/PM10 plus élevé : pendant le weekend et les jours fériés, lorsqu'il y a moins de circulation et donc moins de remise en suspension des particules, la part des PM2,5 et des aérosols secondaires joue un rôle plus important.

Figure 23.31

Rapport (%) entre les concentrations PM2,5 et les concentrations PM10 dans trois stations de mesure (Uccle-R012, Molenbeek-R001, Haren/Avant-Port-N043) pour chaque mois de l'année 2007

Source : IBGE, Département plan air, climat et énergie, 2008



8.6. Conditions météorologiques lors des jours de dépassement en PM10

Afin d'interpréter les premières observations de façon objective, une distribution des fréquences des valeurs semi horaires a été réalisée d'une part pour la direction de vent et d'autre part pour l'humidité relative de l'air (l'humidité relative servant d'indicateur pour l'état de saturation de la masse d'air). Ces fréquences ont été vérifiées pour l'ensemble des jours des années 2005 à 2008 et, dans le cas des stations qui mesurent les PM10, pour les jours avec une concentration journalière au-delà de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (plus d'info sur cette étude dans IBGE-BIM, 2009, pp 4.99-4.106).

La comparaison entre l'occurrence moyenne des conditions météo spécifiques lors de tous les jours de l'année et leur occurrence lors des jours présentant un dépassement a permis de mettre le doigt sur les circonstances lors desquelles les dépassements sont proportionnellement plus présents :

- les périodes avec un vent soufflant des secteurs 'Nord-Est' et 'Est' ;
- les périodes avec une humidité relative limitée (<36 à 52% RH) ;
- les périodes avec une humidité relative très élevée (92 à 100%).

Une intercomparaison des résultats par station et une analyse approfondie des jours de dépassement propres aux postes Avant-Port et Molenbeek uniquement, a permis de révéler qu'il y a une corrélation entre les vents venant des secteurs Est et le surplus de dépassements de PM10 à ces deux postes de mesure. Ceci vaut également pour les périodes d'air sec.

Durant la période hivernale, et surtout entre novembre et février, les inversions thermiques couplées à un vent faible sont plus fréquentes. Une inversion thermique de subsidence^{ix} à grande échelle spatiale, généralement accompagnée d'une inversion thermique de surface en fin de nuit, réduit fortement l'épaisseur de la couche de mélange, causant ainsi une accumulation des polluants et une augmentation des concentrations en PM10. Un vent très faible réduira davantage la dispersion horizontale.

^{ix} Inversion liée à un anticyclone causant un mouvement descendant de l'air sur une superficie de plusieurs milliers de Km². Pour plus d'information sur les différents types d'inversion voir <http://www.answers.com/topic/temperature-inversion>



8.7. Importance de la pollution de fond et de l'importation de PM10 en RBC

Les PM10 dont la taille est très réduite, peuvent être transportées par les masses d'air sur de longues distances. Les concentrations de PM10 mesurées en un endroit donné sont donc le résultat d'une contribution imputable au transport de ces particules à moyenne ou grande distance, et des émissions provenant de sources locales. La différence en concentration entre les sites à proximité du centre ville et ceux se trouvant à l'abri des activités urbaines (où l'on mesure en fait la pollution urbaine de fond) donne une indication de la quantité de particules liées aux activités de la ville.

L'importance relative des diverses contributions (internes et externes à la Région) aux concentrations mesurées peut être appréhendée via l'analyse des séries temporelles de concentrations de PM10 mesurées dans certaines stations représentatives (IBGE-BIM, 2008b):

- la pollution de fond (station située à Vielsalm 43N085, non affectée par des sources locales);
- la pollution urbaine de fond combinée à la contribution transrégionale (station située à Uccle 41R012, relativement éloignée de sources d'émissions directes);
- la contribution urbaine, principalement liée au trafic (station située à Molenbeek 41R001);
- la contribution très locale du trafic que l'on retrouve dans les zones à haute densité de véhicules (estimée sur base de modélisation).

En fonction du déplacement des masses d'air au cours des dernières 24 heures, la source ou la formation des particules importées (contribution transrégionale) peut se trouver en Belgique, ou dans un pays avoisinant.

Le tableau 23.32 présente une estimation de ces quatre contributions, en situation moyenne, d'une part, et lors de pics de pollution hivernaux, d'autre part. D'après la définition du plan d'urgence du gouvernement bruxellois publié dans le Moniteur belge le 24 décembre 2008, un 'pic de pollution hivernal' correspond à un dépassement de 70 µg/m³ en moyenne journalière de PM10, dans au moins deux stations de mesure bruxelloises, pendant la période de novembre à mars (le plan d'urgence fait l'objet d'un arrêté^x). La méthode qui est à la base des résultats repris dans le tableau ci-après, est expliquée dans le rapport d'incidences du plan d'urgence (IBGE-BIM, 2008b).

Tableau 23.32

Contribution relative (%) à la concentration PM10 mesurée: estimation basée sur les mesures de 01/01/2005 à 31/12/2008 inclus			
Source: Cellule interrégionale de l'environnement et Laboratoire de recherche en environnement, 2009			
Origine du PM10	Stations	Situation moyenne	Pic de pollution hivernal
Pollution de fond rural	Vielsalm (43N085)	39,0	26,3
Pollution urbaine de fond + contribution transrégionale	Uccle (41R012)	26,8	31,4
Pollution urbaine liée au trafic	Molenbeek-St-Jean (41R001)	12,2	16,9
Pollution dans zones à haute densité de trafic	Modélisation	22,0	25,4
		100,0	100,0

La pollution de fond combinée à la contribution transrégionale (cellules grises) représente une part importante (66%) des concentrations mesurées en PM10. En situation de pic de pollution hivernal (qui est lié à une mauvaise dispersion des polluants suite à une inversion thermique et un vent faible), la contribution du trafic urbain est proportionnellement plus importante : en particulier au niveau des

^x Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale déterminant les mesures d'urgence en vue de prévenir les pics de pollution atmosphérique par les microparticules, adopté le 27 novembre 2008 et publié dans le Moniteur belge le 24 décembre 2008



zones à haute densité de trafic (p.ex. canyon street), la part de la concentration en PM10 expliquée par les émissions locales de particules augmente jusqu'à 42,3 % (cellules jaunes). Dans les sites à trafic qui sont par contre bien ventilés, la contribution des émissions locales de particules, à la concentration mesurée lors des pics de pollution, est estimée à 22,7 %.

8.8. Quelques paramètres chimiques des particules en Région bruxelloise

8.8.1. Teneurs en HPA, traceurs de processus de combustion

Depuis 1998, l'analyse des HPA particulières en Région bruxelloise est réalisée par le Laboratoire de recherche en environnement de l'IBGE. Elle est basée sur des prélèvements hebdomadaires via un échantillonnage continu sur sept jours consécutifs (pour plus d'information, voir IBGE-BIM 2009, annexe A). Pour le sujet qui nous intéresse ici, seuls les HPA présents totalement en phase solide, seront considérés : il s'agit de Benzo(e)pyrène, Benzo(a)pyrène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Indéno(123cd)pyrène, Benzo(ghi)pérylène, Coronène, Benzo(a)anthracène. Les concentrations moyennes (en nanogramme par mètre cube d'air) sont calculées par mois et par année civile sur base des résultats hebdomadaires. L'échantillonnage est effectué à l'endroit des stations de mesure qui contiennent les appareils pour la détection télémétrique des PM10, à l'exception de la station Belliard-BLD1. Celle-ci a d'ailleurs été arrêtée en septembre 2004. Pour rappel : Couronne (R002) et Bélliard (BLD1) sont des stations représentatives d'un environnement à trafic intense à proximité, Gulledele (WOL1) représente une zone dégagée mais proche du trafic, tandis que IRM-KMI (R012) et Meudon (MEU1) se trouvent dans une zone de pollution de fond.

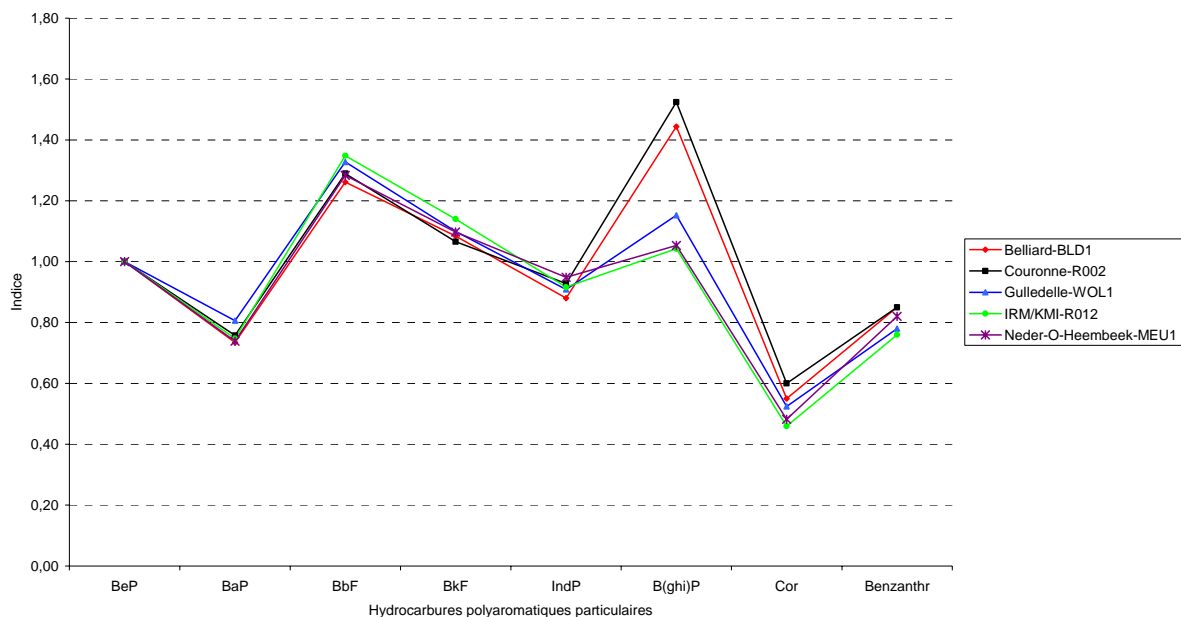
La fraction particulaire des hydrocarbures polycycliques communément appelés particules « diesel » est émise essentiellement par les processus de combustion (fuel, charbon, bois,...). Ils sont présents principalement dans la fraction PM2,5. Les sources de combustion à Bruxelles sont le trafic et le chauffage domestique.

Les HPA peuvent être utilisés pour évaluer les origines de particules.

En normalisant les concentrations des différents HPA par rapport au Benzo(e)pyrène (BeP), on observe (voir figure 23.33) que le Benzo(g,h,i)pérylène - en abrégé B(ghi)P - est fortement influencé par l'intensité du trafic comme en témoigne l'indice 1,5 pour Belliard et Couronne contre 1,05 pour les stations de fond IRM et Meudon.

Figure 23.33 : Moyenne annuelle (2001) des concentrations de huit HPA (normalisées par rapport à la concentration de Benzo(e)pyrène et basées sur les valeurs de cinq stations de mesure)

Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009

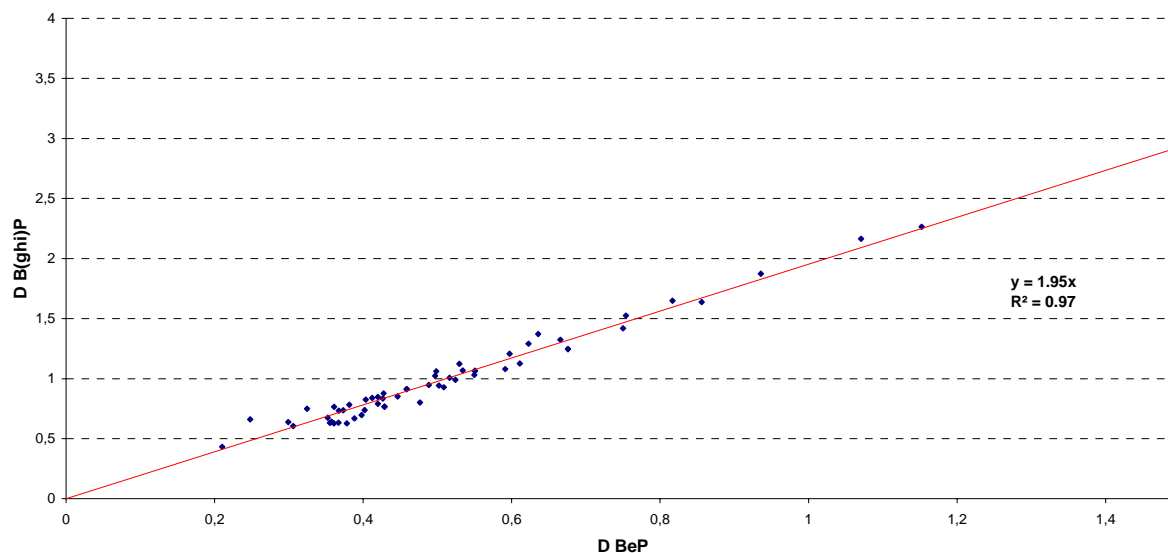




En utilisant les différences de concentrations de Benzo(g,h,i)pérylène et Benzo(e)Pyrène (BeP) entre les stations à trafic dense Belliard et Couronne et la station de fond IRM-KMI, on obtient un « profil d'émission » du trafic (voir figure 23.34).

Figure 23.34 : Corrélation entre les différences de concentrations (moyennes hebdomadaires) de B(ghi)P et de BeP mesurées en 2001 dans deux stations à trafic dense (Belliard- BLD1 et Couronne-R002) et une station de fond (IRM-R012)

Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009

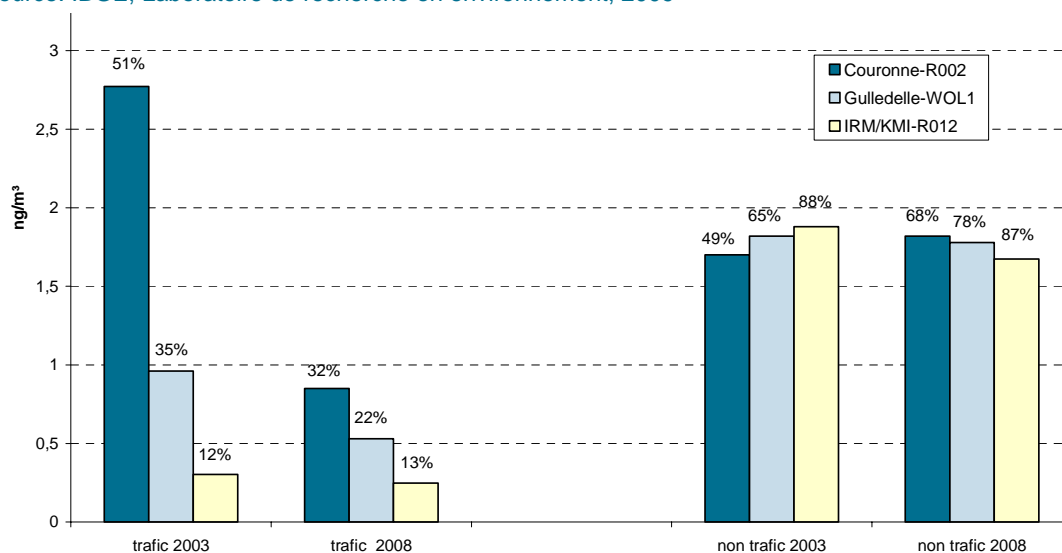


L'analyse des rapports Benzo(ghi)Pérylène sur Benzo(e)Pyrène permet d'évaluer la contribution du trafic local et des sources « non trafic ». La contribution "non trafic" englobe les émissions du chauffage et les particules importées.

La figure 23.35 présente, pour deux années différentes, tant en masse (ng/m³) qu'en pourcentage, les contributions du « trafic » et du « non trafic » aux concentrations annuelles totales des HPA particulières.

Figure 23.35 : Répartition des HPA particulières totaux selon leur origine « trafic » et « non trafic » en 2003 et en 2008 : comparaison en concentration annuelle et en pourcentage

Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement, 2009



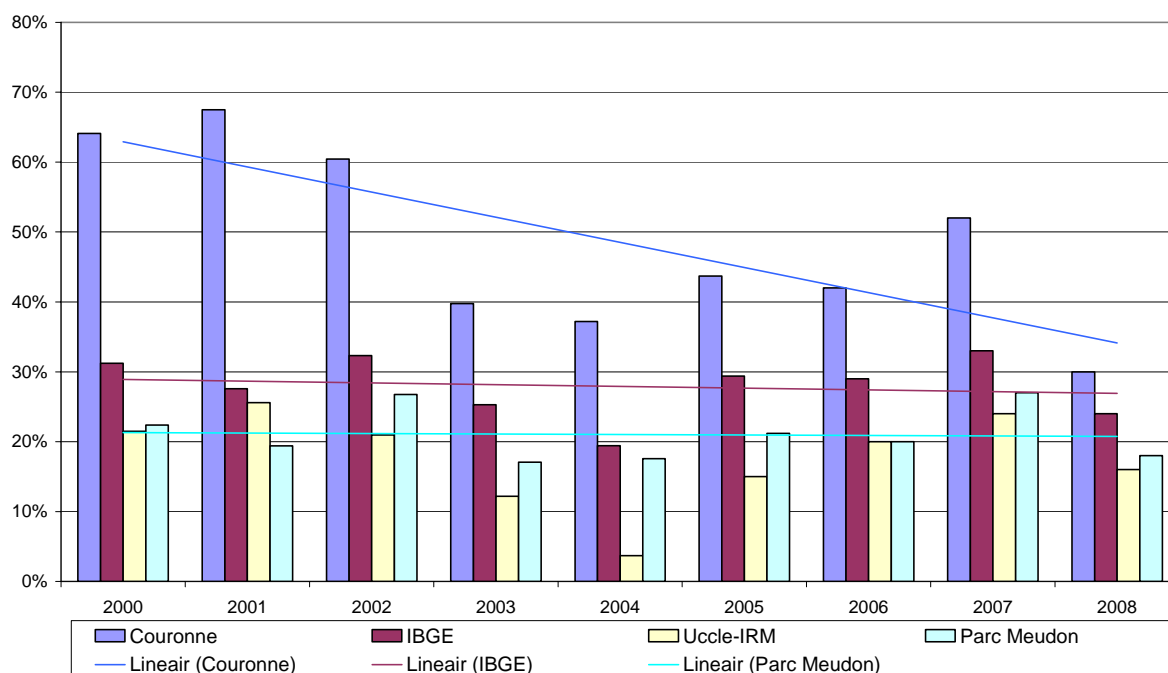
On constate que les concentrations en HPA particulières dues au « non trafic », soit chauffage (fuel) et importation, sont restées relativement stables pour les trois stations. Pour la partie émise par le trafic, la concentration est en diminution marquée à l'avenue de la Couronne où elle était prépondérante ; pour les autres stations, il n'y a pas d'évolution marquée.



Le graphique 23.36 représente les pourcentages de HPA dus au trafic.

Figure 23.36: Evolution temporelle du pourcentage des HPA particulaires totaux dû au trafic - période 2000-2008

Source: IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (IBGE-BIM 2009)

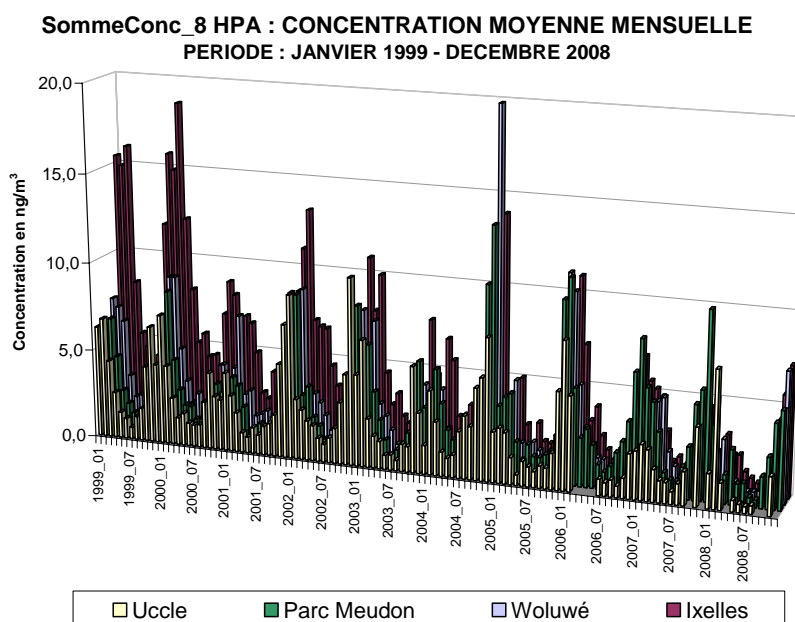


On constate que pour l'avenue de la Couronne l'apport du trafic dans le total des HPA particulaires a fortement diminué depuis 2000 et représente maintenant moins de 50%. Cette évolution est sans doute la conséquence de l'évolution technologique des moteurs diesel. Pour les autres stations qui sont moins sous l'influence directe du trafic, la diminution est faible ou nulle.

L'évolution des concentrations moyennes mensuelles de la somme des concentrations de 8 HPA différents est représentée graphiquement à la figure 23.37.

Figure 23.37 : Evolution de la somme des concentrations moyennes mensuelles de 8 HPA dans 4 postes de mesure. Période : janvier 1999-décembre 2008

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (IBGE-BIM 2009)





Il ressort de la figure 23.37 qu'à tous les lieux de mesure, les concentrations de HPA particulières sont manifestement maximales durant les mois d'hiver. Ceci est d'ailleurs le cas pour tous les HPA mesurés. La part plus importante du chauffage dans les émissions totales, d'une part, et les conditions météorologiques, d'autre part, souvent moins favorables à la dispersion durant les mois d'hiver, en sont notamment responsables.

8.8.2. Les HPA et la santé humaine

Plusieurs HPA sont classés par l'OMS comme agents cancérigènes possibles (IARC 2008 : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthgr01.php>). Le Benzo(a)pyrène reconnu comme cancérigène avéré (classe 1) et mutagène est le seul dont la surveillance est associée à une norme à ne pas dépasser pour 2013. Un de ses métabolites se fixe au niveau de l'ADN cellulaire et entraîne des mutations pouvant aboutir au développement de cancers. Aujourd'hui les concentrations en benzo(a)pyrène en RBC ne présentent pas de niveau inquiétant. Notons toutefois que le fait de respecter la norme pour le Benzo(a)pyrène n'est pas indicatif de la protection de la santé vis-à-vis de l'ensemble des HPA. Les autres HPA préoccupants (benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(j)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, et dibenzo(a,h)anthracène) sont cancérigènes probables (classes 2A et 2B) (IARC 2008 : <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/crthgr01.php>).

Une des principales sources d'exposition aux HPAs est l'alimentation, en effet lorsqu'ils sont formés (processus de combustion incomplète, pyrolyse et pollution atmosphérique en particulier) ils se déposent sur les graines, fruits et légumes qui sont ensuite consommés (WHO 2000). La population est également exposée par voie pulmonaire à un mélange de HPAs contenant ou non d'autres substances chimiques et particules.

8.8.3. Composants « extra urbains »

Quelques publications sur la composition des particules, réalisées par le Laboratoire de recherche en environnement de l'IBGE, ont contribué à montrer l'importance du transport à longue et moyenne distance (Vanderstraeten et al, 2008a et 2008b).

Des particules minérales (principalement Si, Fe, Al en forme d'oxydes) apportées par des tempêtes de sable (dust storms) venant des déserts du Nord de l'Afrique ont été mises en cause par Vanderstraeten et al (2008a) pour expliquer des augmentations de la concentration PM10 et des dépassements de la norme journalière dans toutes les stations de mesure bruxelloises. De la même façon, Vanderstraeten et al (2008b) ont détecté des particules de silicates d'aluminium (argile) provenant d'activités agricoles dans la zone autour de Bruxelles, lors de dépassements de la norme PM10 en certaines saisons. Voir aussi le point 9.2.

8.8.4. Composants précurseurs des aérosols

Les précurseurs des aérosols secondaires sont principalement NO_x, SO₂ et NH₃.

L'analyse des composés anioniques et cationiques de l'aérosol atmosphérique, réalisée par le Laboratoire pour la recherche en environnement de l'IBGE, montre que 40 à 50% de la masse de PM10 est constituée de sels inorganiques (NO₃⁻, SO₄⁻ et NH₄⁺), ce qui correspond aux valeurs observées dans de nombreuses études tant en Belgique (VMM 2009) qu'à l'étranger.

8.9. Le comptage des particules

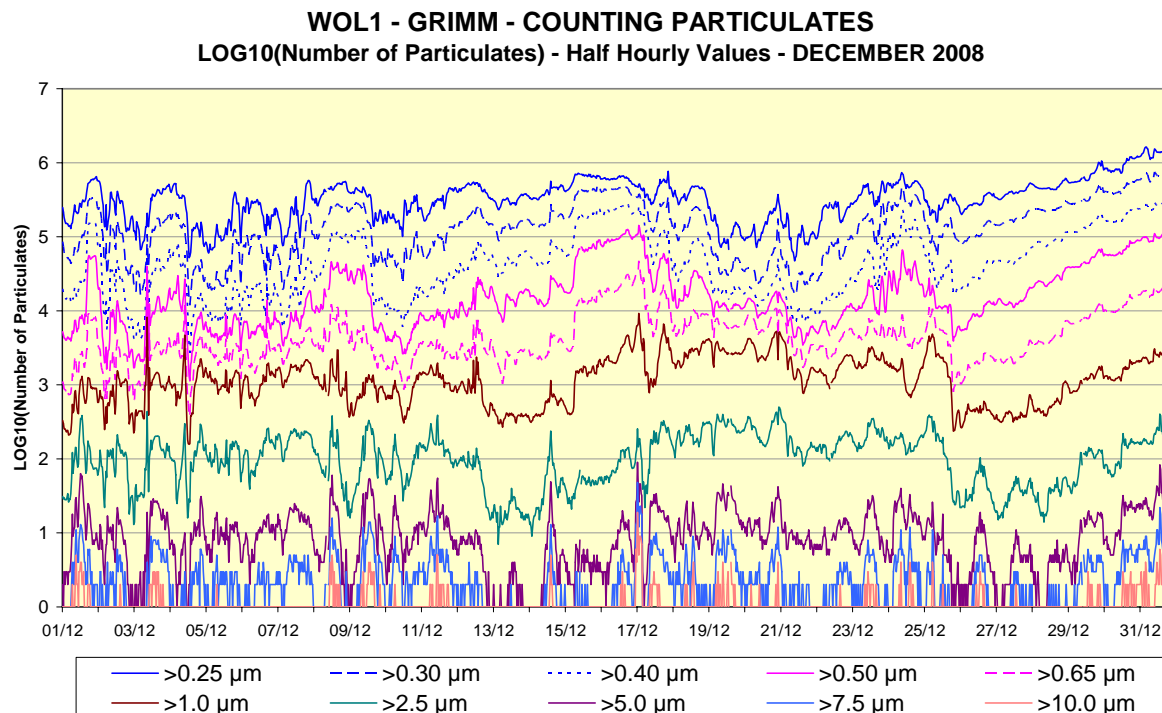
Depuis début juillet 2008, un appareil Grimm GR187 du type néphélométrie laser compte le nombre de particules sur le site Gulledele (WOL1). Il distingue 31 classes de particules dans la gamme (diamètre aérodynamique) entre 0,25 µm et 32 µm. L'interprétation de cette masse de données n'est pas une sinécure. Le dénombrement des particules révèle des phénomènes pour lesquels l'explication manque encore au stade actuel de nos connaissances.

Comme en témoignent les résultats observés dans la nuit du 30 au 31 décembre 2008, le plus grand nombre de particules est parfois constaté pendant des périodes qui sont particulièrement calmes à l'endroit où les comptages ont été effectués.



Figure 23.38: Evolution semi-horaire du logarithme du nombre de particules pour 10 fractions différentes (WOL1-Woluwe) - période : décembre 2008

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (IBGE-BIM 2009)



D'autres comptages ont révélé que le nombre de particules dénombré dans la station WOL1 (1.500.000 particules par litre) peut être trois fois plus élevé le weekend en pleine nuit (entre 2 et 6 heures du matin) que le nombre de particules comptées par le VITO à la rue de la Loi lors d'un jour ouvrable, en plein milieu de la circulation (comptages effectués dans le cadre de l'étude Shapes, voir point 11).

Manifestement, un grand nombre de particules ne provient pas exclusivement du trafic. Le phénomène de nucléation est également à l'origine de nombreuses particules.

A ce stade de nos observations, il s'avère qu'il n'y a pas de corrélation univoque entre la masse des particules et leur nombre : il y a des moments avec beaucoup de particules et beaucoup de masse, beaucoup de particules et peu de masse, peu de particules et beaucoup de masse et peu de particules et peu de masse.

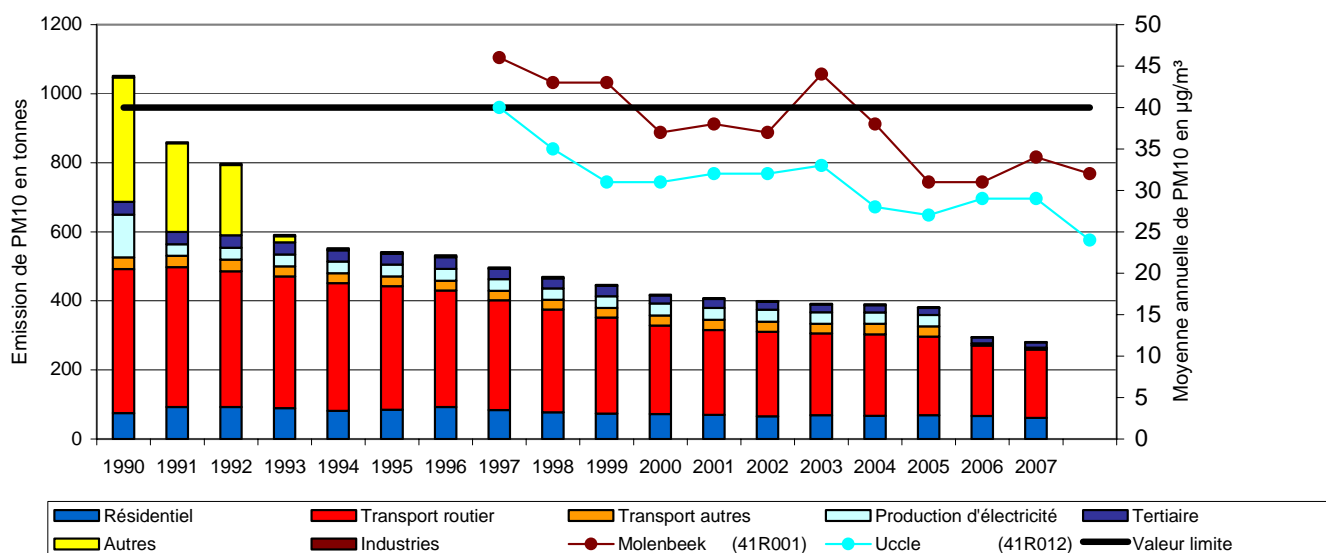


9. Conclusions basées sur les observations des données

9.1. La concentration massique des PM n'est pas principalement déterminée par les émissions locales de particules venant du trafic

Figure 23.39 : Evolution des émissions de PM10 (tonnes) en Région bruxelloise calculées par secteurs d'activité et évolution des concentrations moyennes de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) telles que mesurées dans une station trafic (Molenbeek) et une station de fond (Uccle)

Source : IBGE, Dép. Plan air, climat et énergie, 2009



Bien que la figure 23.39 tende à montrer que la diminution des émissions bruxelloises de PM10 s'accompagne d'une diminution des concentrations moyennes annuelles à Bruxelles, la problématique des PM10 est bien plus complexe. Rappelons tout d'abord que les émissions représentées résultent d'un calcul basé sur des hypothèses et ne correspondent pas à la somme des émissions réelles (pour lesquelles les pays ne disposent d'ailleurs pas de mesures ou comme il n'existe pas d'obligation générale de les mesurer). Etant donné que des études (IBGE-BIM 2008b) ont montré que plus de 60% des PM10 proviennent de l'extérieur de la Région, la diminution des valeurs d'immissions moyennes à Bruxelles est probablement due à la diminution de la quantité des émissions de PM10 au niveau européen.

Sur base d'une analyse profonde des résultats de mesure des niveaux de PM10 et PM2,5, plusieurs éléments indiquent que la concentration massique des PM n'est pas principalement déterminée par les émissions locales de particules venant du trafic:

- une différence limitée entre les concentrations en périphérie et au centre ville (point 8.1)
- une différence notable dans le profil hebdomadaire des concentrations de PM10 et PM2,5 d'une part et de NO et NO₂ d'autre part
- l'expérience des dimanches sans voiture du 21 septembre 2003 et du 17 septembre 2006, et d'autres jours de congé ou de week-end avec peu de trafic qui se sont néanmoins soldés par des concentrations élevées en PM
- la différence dans l'évolution dynamique des concentrations de PM10, NO et NO₂
- les concentrations moyennes en PM10 des dimanches sans trafic sont du même niveau que celles des dimanches moyens
- l'absence d'un changement significatif des concentrations en PM10 et PM2,5 en début et fin de la période d'interdiction du trafic (dimanches sans voiture)
- une concentration assez uniforme sur une zone étendue lorsqu'il y a formation d'aérosols secondaires
- même dans le cas de figure où les émissions en semaine seraient ramenées de façon permanente au niveau des émissions du week-end, le nombre de jours avec une concentration



moyenne en PM10 supérieure à 50 µg/m³ (moyenne journalière) pourrait encore dépasser le nombre maximal autorisé de 35 jours par an.

9.2. Causes des dépassements des normes pour PM10

Il paraît évident que les activités urbaines locales ne peuvent expliquer à elles seules les concentrations élevées, étant donné que les jours de weekend sont bien représentés parmi les jours de dépassements.

Le dépassement se limite parfois à une ou deux stations de mesures à proximité d'une route, d'autres dépassements, par contre, ont lieu au même moment dans plusieurs stations de mesures réparties sur une zone plus vaste. L'analyse des observations a montré que les phénomènes qui se trouvent à la base de ces deux types de dépassement, sont différentes (IBGE-BIM 2009, résumé).

9.2.1. Dépassements observés simultanément dans plusieurs postes de mesure

Les dépassements généralisés sont, dans la majorité des cas, dus à une mauvaise dispersion, ou à des conditions qui favorisent la formation d'aérosols secondaires (entre autres sels d'ammoniaque). Une combinaison de ces deux phénomènes est également possible. De façon plus exceptionnelle, l'apport de particules sur des moyennes et longues distances peut également causer des dépassements simultanés dans une région très étendue.

Dans le cas de **circonstances atmosphériques défavorables à la dispersion des polluants**, on constate une augmentation des concentrations de tous les polluants (excepté l'ozone) et une concordance entre l'évolution des concentrations des PM10 et des polluants gazeux (NO, NO₂, CO et CO₂). D'après le rapport de l'IBGE à la Commission européenne (IBGE-BIM, 2007b), des conditions atmosphériques défavorables à la dispersion étaient présentes dans près de deux tiers des cas de dépassement de la norme journalière pour les PM10 en 2005. Aussi, en 2006, il régnait des conditions défavorables à la dispersion pendant presque la moitié des jours avec dépassements. Pour les années plus récentes, ce facteur explique les dépassements « généralisés » en décembre 2007, en février et décembre 2008 et en janvier 2009.

Autre cause très courante de dépassements généralisés et simultanés, est la **formation abondante d'aérosols secondaires**. Pour l'explication du phénomène, nous renvoyons au point 8.4. A Bruxelles, ce type de dépassement est le plus courant pendant les mois de mars-avril et septembre-octobre, c'est-à-dire avant et après la saison agricole suite à l'épandage à grande échelle de lisier sur les champs dans les régions avoisinantes. Le phénomène s'est produit de manière récurrente en avril 2008 et pendant le mois d'avril 2007 où il est à la base de 16 jours de dépassements (soit près de la moitié des dépassements autorisés pour toute l'année !). Pendant le mois d'avril 2009, la Région a connu 14 jours de dépassements (dont les causes doivent encore être analysées).

L'importance du **transport à longue et moyenne distance causant un apport massif de particules** peut varier très fort d'une année à l'autre. Vanderstraeten et al (2008b) ont observé qu'à certaines périodes de l'année les concentrations en PM10 augmentent de façon simultanée dans différentes stations de la région alors que les conditions météo sont « normales ». Ils ont pu établir un lien avec l'occurrence d'activités agricoles émettrices de particules dans la région avoisinante : 5 postes de mesure bruxellois accusaient une hausse des concentrations PM10 après l'ensemencement des champs et les jours de la récolte du blé, les concentrations en PM 10 dépassaient partout 50µg/m³. L'analyse chimique et micro-morphologique des particules a confirmé que la majeure partie de la masse de la fraction PM10 mesurée était constituée de particules d'origine naturelle. Des particules émanant de l'agriculture peuvent donc de façon significative influencer les concentrations dans une région urbaine.

La figure 23.40 ci-dessous illustre un autre exemple d'un dépassement causé par ce phénomène de transport à longue distance. Pour la nuit du 24 au 25 mars 2007 (premier pic du graph), des concentrations très élevées en PM10 ont été mesurées dans toutes les stations bruxelloises et celles des régions et pays avoisinants. On peut observer que la concentration en PM_{2,5} est bien inférieure à celle de PM10 (environ 45% de la concentration totale de PM10). Le profil des paramètres de la masse volatile VO₁₀ et VO_{2,5} révèle qu'il n'y a pratiquement pas de masse volatile présente. Vanderstraeten et al (2008a) ont mis en cause l'apport massif de sable importé via le secteur Nord-Est suite à une tempête au-dessus des déserts du Nord d'Afrique. L'occurrence d'un nuage de sable a été confirmé par l'Institut royal météorologique à l'aide des trajectoires de la masse d'air (figure 23.41) et de photos satellites. Le deuxième pic de la figure 23.40 (29 mars 2007) a une toute autre apparence : l'évolution dynamique des concentrations, la fraction très élevée de PM_{2,5} et la présence



de masse volatile, sont des éléments qui indiquent tous que la concentration élevée est due à la formation d'aérosols secondaires.

Figure 23.40 : Évolution des concentrations en PM10 et PM2,5 du vendredi 23 mars au vendredi 30 mars 2007 à la station R012-Uccle: apport de sable du Sahara dans la nuit du 24 au 25 mars – Formation d'aérosols secondaires le jeudi 29 mars

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (Vanderstraeten et al, 2008a)

R012 - Evolution "PM10-FDMS" , "PM2,5-FDMS" , VOLATILE Fraction

Period : Friday 23 - Friday 30 March 2007

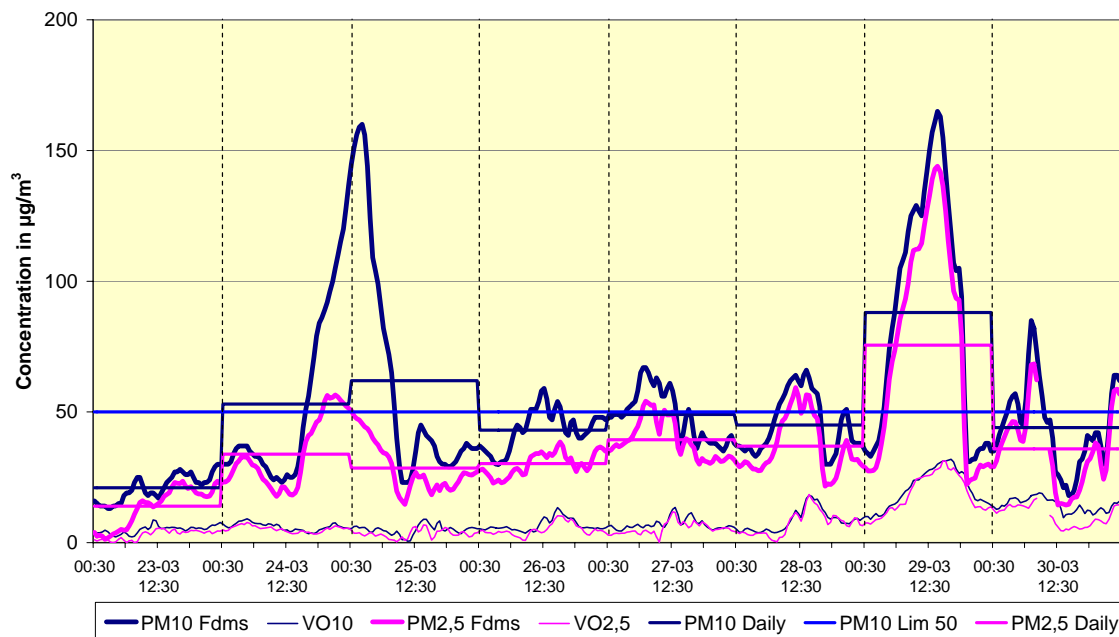
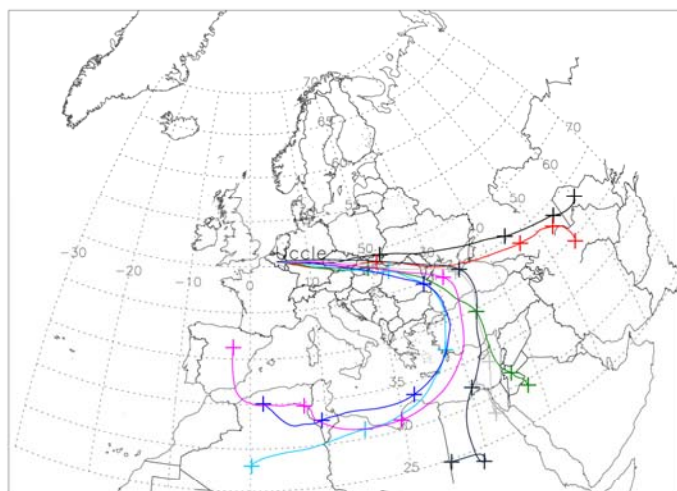


Figure 23.41 : Trajectoires de la masse d'air chargée en particules fines et provenant du Sahara

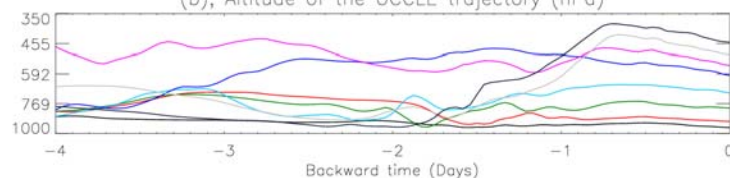
Source : Vanderstraeten et al. (2008a)



(a) 4 day backwards trajectory, date: 20070325.06



(b), Altitude of the UCCLE trajectory (hPa)



9.2.2. Dépassements observés uniquement dans un environnement industriel et/ou à forte circulation

Une analyse des circonstances prévalant lors des jours de dépassement (voir point 8.6) a fait ressortir que le surplus du nombre de dépassements à Avant-Port et, dans un moindre mesure à Molenbeek, correspond à des jours avec importation d'air plus sec du secteur Est. Dans ces conditions météo et en présence de sources de particules plus grosses, ces dernières sont remises en suspension par le vent, par une activité locale ou par la turbulence créée par le trafic. Comme l'illustre la figure 23.42 ci-dessous, les dépassements dus à une **remise en suspension de grosses particules** sont caractérisés par une concentration totale en PM10 plus basse et une masse de la fraction volatile plus faible que dans le cas de dépassements généralisés. Par contre, la concentration massique en grosses particules (c'est-à-dire la fraction entre 2,5 et 10 µm), est visiblement plus importante. Une hausse de cette fraction est un traceur pour la remise en suspension de particules (celles-ci peuvent être d'origine naturelle ou anthropique).

Figure 23.42
PM10, PM2,5 et fraction volatile à Avant-Port (N043) et à Molenbeek (R001) lors des jours présentant un dépassement de la valeur limite journalière

Source : IBGE, Laboratoire de recherche en environnement (IBGE-BIM 2009)

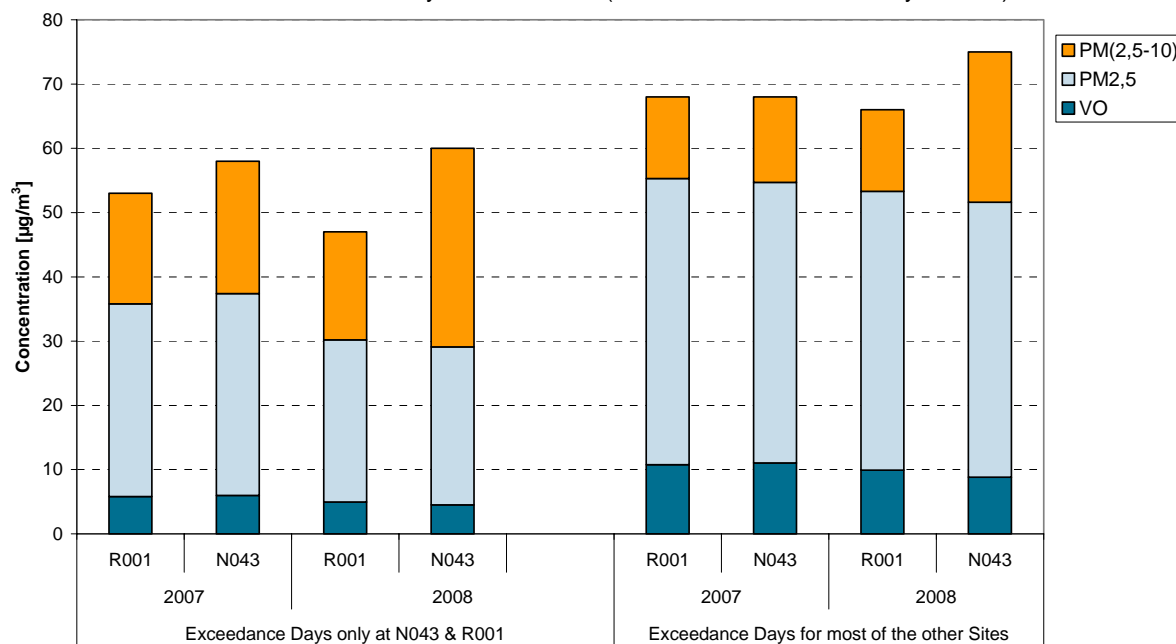
A gauche : situation lorsque le dépassement se présente uniquement dans les stations N043 et R001 (apport d'air sec du secteur Est). A droite : situation lorsque le dépassement a lieu dans la majorité des stations de mesure (formation d'aérosol secondaire et/ou conditions météorologiques générales défavorables)



PM10, PM2,5 and Volatiles at Naval Port (N043) and Molenbeek (R001)

LEFT - Exceedance Days only at N043 & R001 (Dryer Conditions - Resuspension)

RIGHT - Exceedance Days for most Sites (Meteo Driven and Secondary Aerosol)



Il y a au moins trois phénomènes qui, seuls ou en combinaison, peuvent entraîner des concentrations élevées de particules : une mauvaise dispersion, la formation d'aérosols secondaires, la remise en suspension et - phénomène moins courant - le transport à longue et moyenne distance. Chacun de ces phénomènes est responsable d'un nombre important de dépassements.

Vu la problématique complexe des PM10, il n'y a pas de solutions miracles qui permettent de maîtriser le nombre de dépassements. La réduction à grande échelle des gaz précurseurs est urgente et indispensable mais ne garantit pas de nous mettre à l'abri de concentrations très élevées en PM10, qui sont en premier lieu déterminées par les conditions météo. L'importance relative des différents types de dépassements en une année donnée dépendra de l'occurrence et de la prévalence des conditions météo en question.

10. Commentaire sur la relation entre particules fines et le trafic routier

Afin de situer l'importance relative du trafic routier dans la problématique plus large des PM (IBGE-BIM, 2009, résumé du rapport), il est important de confronter les hypothèses qui sont à la base du calcul des inventaires d'émissions, à l'analyse objective des données issues du réseau télémétrique (voir le point 8 et ses conclusions) et aux études d'impact réalisées dans le cadre du plan d'urgence en cas de pics de pollution (point 8.7).

Le trafic est reconnu comme une des principales sources émettrices de polluants en Belgique. Pour les PM10, ce secteur d'activités représente environ trois quarts des émissions locales (primaires) en Région bruxelloise. Sa contribution directe aux concentrations massiques mesurées localement, s'avère pourtant nettement plus réduite. Sur base de l'analyse de l'effet weekend et de l'évolution hebdomadaire des concentrations de PM10 et de NO, on estime que la part du trafic dans les concentrations PM10 mesurées varie entre 7% (pour un environnement résidentiel), et 25% (pour un environnement urbain à proximité du trafic). Ces estimations appellent les explications suivantes :

- La contribution totale du trafic comprend non seulement les émissions directes des véhicules (émission à l'échappement imputable à la combustion du fuel), mais aussi la remise en suspension des particules suite à la turbulence créée par le déplacement des véhicules. Dans la littérature scientifique, il est estimé que ces deux processus revêtent une importance équivalente.



- Le calcul des émissions directes des véhicules se base sur le nombre de kilomètres parcourus et le type du carburant consommé. Vu la configuration du réseau routier belge, la concentration de voitures de société sur le territoire bruxellois et la complexité des flux de transport entrants et sortants dans le pourtour de la Région bruxelloise qui a un bassin d'emploi important, il est difficile de déterminer quelle part des quantités de carburant achetées sur le territoire y est actuellement consommée.
- L'écart entre la part élevée des émissions bruxelloises attribuée au trafic et la contribution plutôt limitée du trafic aux concentrations mesurées localement s'explique par le fait que les particules sont transportées sur de grandes distances. De plus, l'inventaire des émissions n'enregistre ni la contribution des émissions naturelles, ni la formation d'aérosols secondaires.
- L'estimation susmentionnée de la contribution totale du trafic est une valeur moyenne. Lors de pics de pollution résultant de conditions météorologiques défavorables à la dispersion des polluants, les sources locales jouent un rôle comparativement plus important et, dans ce cas, il est probable que la contribution relative du trafic aux concentrations de PM10 soit plus élevée. Dans d'autres situations, notamment lorsque la formation de particules secondaires est abondante, le rôle du trafic est nettement amoindri. A titre d'exemple, nous nous référons aux concentrations élevées en PM10 et PM2,5 constatées lors de jours avec un trafic réduit (jours de congé officiel, la journée sans voiture de 2006): dans ces situations spécifiques, 80 à 90% de la masse PM10 était constituée de PM2,5.
- Des mesures prises sur le trafic dans le seul but de respecter à court terme les normes européennes pour PM10 nécessitent obligatoirement une réduction drastique de l'utilisation des véhicules (ou du moins de leurs émissions). Par exemple, on estime que le respect de la norme journalière pour PM10 à Molenbeek-Saint-Jean demanderait une diminution de 70 à 80% de la circulation routière (ou de son émission). Ce constat est appuyé sur l'analyse des concentrations hebdomadaires : un calcul de simulation du nombre de jours de dépassements basé uniquement sur les jours de week-end, montre que le respect de la valeur limite n'est pas garanti pour une année qui ne serait constituée que des jours de week-end. Notons aussi qu'une réduction des émissions consécutive à une installation généralisée de filtres à particules ne suffirait probablement pas pour garantir le respect de la norme journalière PM10, puisque les émissions directes des véhicules ne représentent qu'environ 50% de la contribution totale du trafic. Il n'en demeure pas moins que de telles mesures sont fortement recommandables dans la mesure où elles limitent l'exposition locale aux particules les plus nocives pour la santé (résidus de la combustion du diesel) et l'émission de gaz précurseurs comme les NOx qui proviennent à 48% du secteur du transport (calcul pour 2007). Vu le rôle joué par le transport transrégional des particules, il incombe à chaque région de prendre sa responsabilité et de diminuer ses propres émissions locales de PM10 afin de contribuer à l'effort européen en matière de qualité de l'air.

11. L'exposition des usagers de l'espace public

Les usagers cherchent une réponse à des questions très concrètes :

- Est-ce que le choix de l'itinéraire est important : faut-il rouler plutôt dans les rues calmes ou est-ce que cela n'a pas d'importance?
- Lorsque le cycliste s'arrête sur un carrefour, est-il important de se mettre devant les voitures afin d'inhaler moins de PM?
- Quelle est la concentration de particules dans les embouteillages ? et dans un tunnel ?
- Est-on mieux protégé dans sa voiture ?
- Lorsqu'une maison est située dans une rue avec beaucoup de circulation, faut-il aérer en ouvrant les fenêtres du côté de l'intérieur de l'îlot?

Les réseaux de mesure traditionnels ne permettent pas d'analyser l'exposition individuelle des piétons et cyclistes aux particules du trafic, étant donné que ces mesures sont réalisées dans des points fixes, que les valeurs des mesures sont agrégées sous forme de moyennes journalières et annuelles et qu'elles séparent rarement la fraction ultrafine des fractions plus grossières. Par ailleurs la surveillance se base sur une unité de masse et ne reflète pas l'évolution de la composition chimique des particules et de leur toxicité potentielle.



Plusieurs études récentes, dont certaines sont encore en cours, contribuent à donner des éléments d'éclairage à ces questions:

- Le projet « *Fietsbalans* » du Fietsersbond des Pays-Bas (<http://www.fietsbalans.nl>) constitue une recherche à grande échelle sur différents aspects des déplacements en vélo et de la convivialité pour le cycliste, menée de 2000 à 2004 grâce au soutien financier du ministère de 'Verkeer en Waterstaat' dans 125 communes des Pays-Bas. La suite, appelée « *Fietsbalans 2* » a été lancée en 2006 pour évaluer le progrès de certains aspects de la première phase et réaliser en collaboration avec l'Université de Utrecht des mesures de qualité de l'air à l'aide d'un vélo de mesure spécial. Ces résultats apportent une première approche de l'exposition des cyclistes. La recherche porte également sur les effets de santé du déplacement en vélo.
- Le projet européen « *Vector* » (Visualisation of the Exposure of Cyclists to Traffic on Roads) , qui s'étale de janvier 2007 à juillet 2009, réalise des mesures d'exposition aux PM (en masse et en nombre) ainsi que des enregistrements vidéo simultanés, dans les villes de Berlin, Vilnius, Budapest et Utrecht (<http://www.vectorproject.eu/>) avec la collaboration de IVAM UvA (Université de Amsterdam) et des associations cyclistes locales. S'inspirant du projet *Fietsbalans*, le but est de conseiller les cyclistes et dirigeants locaux sur le moyen de réduire l'exposition au trafic, en se servant aussi de films instructifs. (<http://www.ivam.uva.nl/index.php?id=130&L=1%2Findex.php%3Fpage%3Dhttp%3A%2F%2Fwww.evergreenford.com%2Flong.swf>).
- Une étude multidisciplinaire à grande échelle intitulée « *Shapes* » (**S**ystematic Analysis of **H**earth Risks and physical **A**ctivity associated with cycling **P**olicies) commanditée par la politique scientifique fédérale (belge) cherche à établir des relations entre la santé et l'utilisation du vélo et à faire une analyse coût-avantages du transfert modal de la voiture vers le vélo. Les données d'exposition des automobilistes et des cyclistes aux particules (PM10, PM2,5 et ultrafines) ont été collectées le long de parcours à Bruxelles, Liège, Louvain-La-Neuve, Mol et Antwerpen. Sont partenaires dans ce projet qui a démarré en mars 2008, le VITO (coordinateur) et les universités VUB et UCL (<http://www.shapes-ssd.be>).

Une présentation succincte de la méthodologie et des résultats intermédiaires des projets *Shapes* et *Vector* sont consultables sur le site de Velocity Brussels 2009 (<http://www.velocity2009.com/assets/files/VC09-subplenary-7.1.pdf>).

- Une étude multidisciplinaire « *Parhealth* » (Effets des particules fines sur la santé en relation avec leurs propriétés physico-chimiques et la métrologie) commanditée par la politique scientifique fédérale (belge) vise à identifier les composés chimiques et physiques des particules contribuant à des effets néfastes sur la santé. Elle implique une approche qui combine toxicité, chimie et métrologie. Ce projet a démarré en décembre 2006 ; sont partenaires les universités KUL (coordinateur), UCL, Gand, Anvers et l'IRM.
- Un cluster entre les projets *SHAPES* et *PARHEALTH* vise l'amélioration de la collaboration entre les scientifiques dans le domaine de la santé, la pollution atmosphérique et le trafic routier. Il s'intitule *PM²-TEN* (Particles, Mobility, Physical activity, Morbidity and the Environment Network), et est commandité par la politique scientifique fédérale (belge). Ce cluster a pour objectifs d'explorer les effets sur la santé des particules, la toxicité par composant en association avec la métrologie et la modélisation, le rapport entre le comportement de certains groupes à risque et les conséquences en termes de prise de décision portant sur le bruit, les accidents, l'activité physique, le sommeil et les diverses interactions. Il a démarré en décembre 2007. Sont partenaires le VITO (coordinateur) et les universités VUB et KUL.

L'analyse des mesures du Fietserbond Nederland par l'Université de Utrecht (Institute for Risk Assessment Sciences) a permis de comparer les concentrations de PM2,5 et PM0,1 auxquelles sont exposés des cyclistes et des automobilistes le long de leurs parcours journaliers dans 12 villes différentes (Slütter, 2008). En moyenne, la pollution à l'intérieur de la voiture est pire que sur le vélo mais le cycliste inhale plus de particules suite à l'effort réalisé. Les vélomoteurs et motos exposent les cyclistes à de hautes concentrations en particules ultrafines. Il résulte des mesures que les cyclistes ont intérêt à suivre des pistes cyclables qui sont séparées des voitures et des cyclomoteurs, afin de diminuer le risque pour la santé.

Les mesures mobiles d'exposition aux particules ultrafines réalisées avec des vélos spécialement équipés, montrent que le nombre de particules est plus élevé dans les rues à trafic dense ainsi que



dans les tunnels, et que chaque passage de camion ou de moto provoque une poussée importante de particules. Facteurs qui interviennent dans l'inhalation des particules ultrafines par les cyclistes sont :

- le nombre de particules présentes le long du parcours (la densité du trafic, le profil de la rue, le vent et la pluie jouant un rôle)
- la distance et la séparation du cycliste vis-à-vis de la source émettrice (d'où l'importance du positionnement et de l'aménagement judicieux de la piste cyclable) et
- la ventilation du cycliste qui est affectée par la vitesse et la pente du terrain.

De juin 2008 à fin 2010, vingt-cinq villes participent au projet européen Aphekom (<http://www.aphekom.org>) ; la Région de Bruxelles-Capitale en fait partie grâce à la l'implication de l'IBGE. L'objectif du projet: « Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe ». Les chercheurs comptent mettre à profit les résultats d'un projet antérieur « Apheis Health Impact Assessment ». Une des tâches du groupe de travail 4 consistera à évaluer le nombre de cas de maladies cardio-pulmonaires chroniques et aiguës évitables en lien avec la proximité de la circulation (via l'exposition aux PM10 et PM2,5) et les facteurs qui interviennent.

12. Conclusions

La série non interrompue des données d'immission pour les fumées noires (depuis 1968) et les PM10 (depuis 1994) rassemblées grâce au réseau de la qualité de l'air en Région bruxelloise constitue une mine d'information qui a été exploitée et documentée par les rapports et publications du Laboratoire de Recherche en Environnement. Après la régionalisation de la plupart des compétences en matière de politique environnementale, une partie du laboratoire a été intégrée dans l'administration régionale, Bruxelles Environnement – IBGE (début 1994). La surveillance se poursuit.

Malgré d'importants progrès (points 6.1.3 et 6.2.3), le respect des normes de qualité de l'air imposées par les directives européennes reste problématique en ce qui concerne les particules fines (PM10, PM2,5), comme c'est aussi le cas pour l'ozone troposphérique et le dioxyde d'azote. Ces trois polluants accusent des concentrations de fond élevées et sont des polluants secondaires qui se forment en partie par réactions chimiques à partir d'autres polluants présents dans l'atmosphère. Ces deux particularités font que des actions locales pour combattre leur émission, ne suffisent pas et qu'il est plus difficile d'agir directement. Même dans des stations situées dans un environnement relativement protégé des émissions du trafic (à la station de Uccle par exemple où les concentrations de PM10 mesurées sont les plus faibles avec celles mesurées à la station de Berchem), la valeur limite pour la concentration moyenne journalière des PM10 (contraignante depuis 2005) ne pourra être respectée à court terme. Etant donné que cette norme frôle le niveau de la pollution de fond des zones fortement urbanisées comme la Belgique et les pays avoisinants, elle ne pourra être respectée que moyennant des mesures supra-régionales draconiennes, persévérantes et concertées pour diminuer les contributions respectives des différentes sources..

Le renforcement des valeurs limites imposées par l'Europe (en terme de niveaux tolérés et de nombre de dépassements autorisé) pose des exigences sévères au réseau de surveillance : la nouvelle directive préconise un taux de disponibilité des données d'au moins 90%, associé à un degré suffisant d'exactitude des données. Ceci implique une grande fiabilité et stabilité des systèmes de mesure et de la transmission des données, sept jours sur sept, 24 heures sur 24. Les obligations d'une diffusion rapide des données (via Internet) ainsi que celle de l'information à la population en cas de dépassement (plan d'urgence en cas de pics de pollution) impliquent, outre les performances optimales des appareils, des méthodes de travail rigoureuses et une forte implication du personnel dans les procédures de contrôle et de validation.

Les exigences techniques se doivent d'être associées à un approfondissement et une objectivation de la connaissance en matière de PM dans l'air ambiant et de protection de la santé. La problématique des particules en suspension est très complexe, tant sur le plan des techniques de mesure, de la compréhension du phénomène que de l'élaboration de remèdes efficaces. La problématique des PM10 ne peut pas être réduite aux seules émissions de particules par le trafic routier local. Des concentrations élevées sont susceptibles de se manifester dans des conditions atmosphériques qui n'entraînent pas de valeurs élevées pour la plupart des autres polluants, à savoir par ex. par temps humide (formation de particules secondaires) ou temps sec (remise en suspension).

La complexité résulte de l'origine à la fois locale et importée des particules, de leur transport à moyenne et grande échelle, et aussi de leur capacité à interagir avec d'autres composants chimiques présents dans l'atmosphère. Les conditions météorologiques jouent un rôle important dans toutes les



formes de pollution atmosphérique étant donné qu'elles déterminent le transport, la dilution et l'élimination (pluie) des polluants. Dans le cas des particules en suspension, la météo est davantage importante parce que – comme dans le cas de l'ozone - elle est déterminante pour la formation et la stabilité des aérosols secondaires.

De manière générale, la réduction d'émissions issues de sources locales, à un endroit donné, aura un impact d'autant plus significatif que ces sources contribuent de façon importante aux concentrations mesurées à cet endroit. A l'échelle de la Région des efforts s'imposent non seulement au niveau des performances énergétiques des bâtiments mais surtout au niveau de la circulation routière.

Il ressort de l'analyse des jours de dépassement que l'impact des particules secondaires est considérable. Comme la réduction de la quantité de particules secondaires va de pair avec la diminution de la quantité des polluants précurseurs (ammoniac NH₃, NO_x, SO_x), il faudra agir « globalement » pour parvenir à limiter les émissions de ces précurseurs.

Limiter les concentrations de particules impose donc de prendre des mesures dépassant le cadre de la Région :

- Une diminution de l'apport des PM extérieurs à Bruxelles, conjointement avec des mesures de réduction des émissions au niveau de la Région, aura un effet substantiel sur les concentrations mesurées à Bruxelles.
- Dans cette problématique internationale, la réduction des émissions bruxelloises contribuera également à la diminution de l'apport de PM extérieurs dans les régions limitrophes.
- Surveiller l'exposition des populations aux effets toxiques des PM nécessite l'implication de la RBC dans de grandes études épidémiologiques européennes.

Sources

1. Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale déterminant les mesures d'urgence en vue de prévenir les pics de pollution atmosphérique par les microparticules, adopté le 27 novembre 2008 et publié dans le Moniteur belge le 24 décembre 2008 (http://www.leefmilieubrussel.be/Templates/download/20081127_agb_pic_pollution.pdf)
2. EMEP (2005), EMEP-report 1/2005, Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2003, EMEP de pollution »
3. IBGE-BIM (2009), La qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale : Mesures à l'immission 2006 - 2007 – 2008, Rapport technique (http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/QAir_Rpt0608_ssAnnexesB_C_D_E_fr.PDF)
4. IBGE-BIM (2008a), Les mesures à l'immission lors d'une journée sans voitures, rapport de l'année 2008 (http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/Rpt03_2008_fr_AnnexComplet_CarFree.PDF)
5. IBGE-BIM (2008b), Rapport sur les Incidences Environnementales du « Plan d'urgence en cas de pics (http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/RIE_pic_pollution_20080528_FR.PDF)
6. IBGE-BIM (2007a), Rapport sur l'état de l'environnement 2003-2006, II. Qualité de l'environnement et qualité de vie, 1. Air extérieur, 45 pages (http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/EE2006FR_volet2_air.PDF).
7. IBGE-BIM (2007b), Plan against PM10 exceedances under the air quality framework directive 96/62/EC, The Brussels Capital Region (Zone BEB10A), years 2005-2006, December 2007 (http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/PlanAgainstExceedances_2007.PDF)
8. IBGE-BIM (2006), La qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale : Mesures à l'immission 2003 - 2004 – 2005, Synthèse du Rapport technique (http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/Rpt0305_ch7_Resume_fr.PDF).



9. IBGE-BIM (2003), La qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale : Mesures à l'immission 2000 - 2001 – 2002, Synthèse du Rapport technique (http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/QAir_0002_fr_ch7_Resume.PDF).
10. IBGE-BIM (2000), La qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale : Mesures à l'immission 1997 - 1998 – 1999, Rapport technique.
11. IBGE-BIM (1997), La qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale : Mesures à l'immission 1994 - 1995 - 1996", Rapport technique.
12. INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE (IPCC), Climate Change 2001: The Scientific basis. Cambridge University Press, 896 pp.
13. MMK (2009), Medisch Milieukundigen bij de LOGO's, Fiche fijn stof (<http://www.mmk.be/vrij.cfm?ld=194>)
14. MIRA (2007), Achtergronddocument Verspreiding van zwevend stof, 8 december 2007 (http://www.milieurapport.be/Upload/Main/MiraData/MIRA-T/02_THEMAS/02_05/AG_ZWEVEND_STOF.PDF)
15. RÈGLEMENT (CE) no 715/2007 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2007 relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et Euro 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:01:FR:PDF>)
16. SLUETTER M., Brommers zijn ultrafijn stofkanonnen, VogelVrijeFietser, mars-avril 2008 (<http://www.onderzoekinformatie.nl/nl/oi/nod/onderzoek/OND1328156/>)
17. VANDERSTRAETEN et al (2009): P. Vanderstraeten, M. Forton, Y. Lénelle, A. Meurrens, D. Carati, L. Brenig, Z.Y. Offer and E. Zaady (2009), Elevated PM10 concentrations and high PM2,5/PM10 ratio in the Brussels Urban Area during the 2006 Car-free Sunday, International Journal for Environment and Waste Management, Vol. 3, Issue 4, IJEW-07-0108.
18. VANDERSTRAETEN et al (2008a): P. Vanderstraeten, Y. Lénelle, A. Meurrens, D. Carati, L. Brenig, A. Delcloo, Z.Y. Offer and E. Zaady (2008), Dust storm originate from Sahara covering Western Europe - A case study, Atmospheric Environment Vol. 42 (2008), 5489-5493, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.02.063.
19. VANDERSTRAETEN et al (2008b): P. Vanderstraeten, Y. Lénelle, A. Meurrens, D. Carati, L. Brenig, Z.Y. Offer and E. Zaady, Micromorphology and chemistry of airborne particles in Brussels during agriculture working periods in surrounding region. Environ Monit Assess (2008) 146:33-39, DOI: 10.1007/s10661-007-0057-9
20. VANDERSTRAETEN et al (2007): P. Vanderstraeten, Y. Lénelle, A. Meurrens, D. Carati, L. Brenig, and Z.Y. Offer, Temporal variations of airborne particles concentration in the Brussels environment, Journal of Environmental Monitoring and Assessment (2007) 132:253-262, DOI 10.1007/s10661-006-9531-z (16.12.2006).
21. VMM (2008), Comparative PM10 and PM2,5 Measurements in Flanders (Belgium), Period 2005-2006
22. VMM (2009), Chemkar PM10: Chemische karakterisatie van fijn stof in Vlaanderen, 2006-2007 (http://www.vmm.be/publicaties/2009/CK_PM10_TW.pdf)
23. WANG, K., Dickinson, R.E. and Liang, S. (2009). Clear Sky Visibility Has Decreased over Land Globally from 1973 to 2007. Science. 323: 1468-1470 (<http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/151na5.pdf>).
24. WHO (2000), Air quality guidelines for Europe
25. WHO (2003), Health Aspects of Air Pollution (2003) chapter 5, particulate matter (PM), section 5.2 answers and rationale, question 7, Report on a WHO Working Group, Bonn, Germany, 13–15 January 2003



Autres fiches à consulter

Thématique « Air » :

- 3. Les accords internationaux et régionaux pour protéger la santé publique au niveau local
- 4. Les accords internationaux pour limiter la pollution atmosphérique globale afin de protéger les écosystèmes et l'homme
- 6. Dioxyde de soufre
- 7. Ammoniac
- 8. Oxydes d'azote (NOx)
- 24. Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HPA)
- 25. Distance aux objectifs de qualité et d'émissions
- 28. Inventaire d'émissions atmosphériques application de CORINAIR à Bruxelles
- 40. Directives de la qualité de l'air de l'Organisation Mondiale de la Santé
- 41. Indices de la qualité de l'air à Bruxelles
- 53. Inventaire d'émissions atmosphériques liées au secteur des transports routiers – Modèle COPERT
- 59. La protection de la qualité de l'air

Thématique « Santé et environnement »

- 2. Outils d'analyse des relations environnement - santé
- 14. Asthme
- 15. Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)

Auteur(s) de la fiche

DEBROCK Katrien, CHEYMOL Anne, VANDERSTRAETEN Peter

Relecture : BOULAND Catherine, BRASSEUR Olivier, HOLLANDER Sarah, LÉNELLE Yves, MEURRENS Annick, SQUILBIN Marianne, VERBEKE Véronique

Date de mise à jour : juillet 2009