

4.2 OZONE (O₃)

L'ozone est un polluant typique de la période estivale en Europe occidentale. L'ozone est toujours présent en concentration relativement stable dans la zone de la troposphère juste au-dessus de la couche de mélange. Dans les couches inférieures de la troposphère (la couche de mélange), la concentration d'ozone est moins stable et peut varier du niveau zéro à environ 200 à 250 µg/m³ les jours d'été à grande chaleur. L'ozone n'est pas émis directement dans l'atmosphère mais est le résultat d'un processus complexe de réactions photochimiques. C'est pourquoi l'ozone est qualifié de '*polluant secondaire*'.

Lors des périodes ensoleillées et par températures élevées, un processus de réaction est initié, sous l'effet des rayons UV du spectre solaire, dans les masses d'air déjà polluées par des oxydes d'azote et des composés organiques volatils (COV). La concentration d'ozone augmente en cours de journée et atteint sa valeur maximale en fin d'après-midi ou en soirée. Les oxydes d'azote et les COV sont appelés '*précurseurs*' de la formation d'ozone.

Le niveau de concentration atteint dépend de nombreux paramètres : l'*intensité des rayons UV*, la *température*, la *nébulosité*, l'*hygrométrie*, la *stabilité des couches atmosphériques*, la *hauteur de la couche de mélange*, la *vitesse* et la *direction du vent*, etc. ...

L'air provenant du continent est plus sec et déjà plus pollué que les masses d'air arrivant de l'océan. Un vent fort a un effet plus diluant qu'un vent faible. Lorsque l'atmosphère est instable, le mélange en hauteur se fait mieux et les concentrations au sol sont plus faibles.

Lorsque les couches atmosphériques sont plus stables ou que la hauteur de couche de mélange est plus basse, la pollution reste concentrée dans une couche d'air plus mince. Dans ce cas, les concentrations sont plus importantes qu'habituellement. Dans le commentaire des paramètres météorologiques (chapitre 2) il a été signalé que les concentrations d'ozone les plus élevées sont généralement précédées d'une inversion de température (inversion au sol) en matinée. Ces inversions matinales sont éventuellement suivies de conditions stables pendant le reste de la journée.

La concentration d'ozone en un endroit précis est toujours le résultat de deux processus simultanés : un processus de '*formation d'ozone*' évoluant assez lentement (plusieurs heures) et un processus de '*destruction d'ozone*' assez rapide (d'une à quelques minutes). La photolyse (scission sous l'influence de photons) d'une molécule de NO₂ est à la base de la formation d'ozone.



L'atome d'oxygène libéré réagit avec une molécule d'oxygène pour former de l'ozone :



La principale réaction qui donne lieu à la destruction d'ozone est la réaction directe avec du monoxyde d'azote :



En l'absence de composés organiques volatils, un équilibre dynamique devrait s'établir entre la formation d'ozone (équ. 4.4 et 4.5) et la destruction d'ozone (équ. 4.6). Cet équilibre est toutefois perturbé du fait que le NO est en grande partie oxydé en NO₂ dans une réaction avec des radicaux provenant de composés organiques volatils. Par conséquent, le NO n'est pas disponible pour la destruction d'ozone et le NO₂ formé peut à nouveau être scindé sous l'influence des rayons UV et former de l'ozone.

Une même molécule de NO₂ peut en quelque sorte engendrer la formation de plusieurs molécules d'O₃. Ce processus en chaîne peut donner lieu à une formation d'ozone excédentaire, même en cas de faible concentration des *précurseurs*.

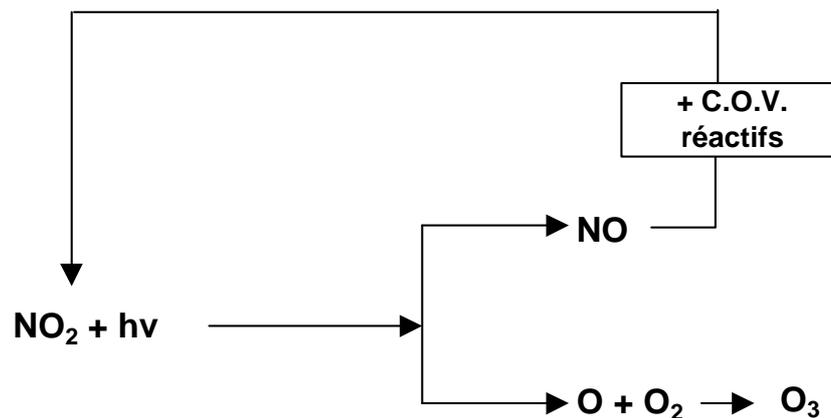


Fig. 4.20: formation excessive d'ozone (schéma simplifié)

Les polluants entraînant la formation et la destruction d'ozone appartiennent au même groupe et proviennent dans une large mesure des mêmes sources (trafic routier). Des mesures d'urgence pour une réduction immédiate des émissions de *précurseurs* entraînent également une réduction de la destruction d'ozone. On pourrait donc obtenir un résultat contraire à celui visé.

Généralement on admet qu'une diminution de la pollution d'ozone ne peut intervenir qu'à condition que les réductions d'émissions des précurseurs soient réalisées de manière draconienne (minimum 50 à 60%), à grande échelle (une grande partie de l'Europe de l'Ouest) et de façon durable dans le temps.

Phénomène de week-end: Une indication de l'augmentation éventuelle de la concentration d'ozone, lors d'une réduction brusque et temporaire des émissions, est la différence marquée de la concentration d'ozone un "jour ouvrable moyen" par rapport à un "un jour de week-end ou un jour férié moyen". Tout comme pour les étés précédents (1994 à 2002), les concentrations d'ozone pendant les étés 2003-2005 ont été, en moyenne, plus élevées les jours non-ouvrables.

De nouveau, il apparaît que cette différence n'est pas due à la situation météorologique qui serait significativement différente les jours ouvrables et les jours non-ouvrables. L'hypothèse la plus probable pour expliquer cette différence provient du changement du modèle d'émission (situation du trafic) les jours ouvrables et non-ouvrables.

Les week-ends et jours fériés les émissions sont plus faibles. En conséquence il y a moins de NO présent dans l'air et la destruction de l'ozone devient moins importante.

Dans ses rapport d'été l'AEE (Agence Européenne d'Environnement) consacre un chapitre à ce phénomène de « week-end ». Il apparaît que l'on peut constater dans la plupart des postes de mesure des pays membres de la CE, une différence marquée en concentration d'ozone le week-end et les jours ouvrables. De plus aux États-Unis ce phénomène est le sujet d'un programme de recherche qui rassemble toutes les informations (émissions et concentrations) disponibles afin d'étudier ce phénomène et les tendances par rapport aux évolutions des émissions en NO_x et COV.

Dispersion spatiale de la concentration en ozone: le processus de formation d'ozone seul, entraînerait peut-être une concentration d'ozone pratiquement homogène au-dessus de la région. La distribution spatiale de la concentration d'ozone n'est toutefois pas homogène, en raison surtout de la destruction d'ozone qui peut varier d'un endroit à l'autre.

En général, au centre-ville et à proximité des axes routiers (surplus en NO) la destruction d'ozone l'emporte sur la formation. Dans la périphérie et en aval des grandes villes la formation d'ozone devient plus importante que sa destruction.

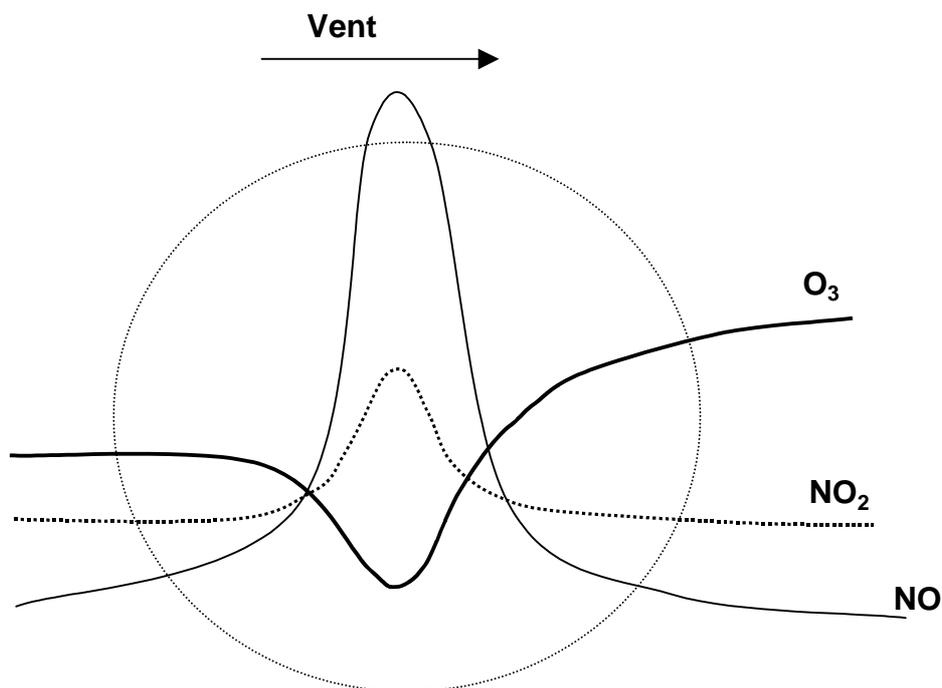


Fig. 4.21: Destruction de l'ozone au centre-ville par l'excès de NO provenant du trafic. Formation d'ozone plus importante en périphérie et en aval des grandes villes.

Les concentrations d’ozone en Région de Bruxelles-Capitale sont mesurées en permanence à 7 endroits différents du réseau télémétrique:

- Uccle (41R012) depuis 1986
- Berchem-Ste-Agathe (41B011) depuis janvier 1993
- Woluwé-St.-Lambert (41WOL1) depuis mars 1994
- Molenbeek (41R001) depuis septembre 1997
- Haren (41N043) depuis juillet 1998

- Ste-Catherine (41B004) depuis décembre 2000
- le Parlement Européen (41B006) depuis septembre 2001

4.2.1 Réglementation O₃

La directive 2002/3/CE du 12 février 2002 fixe **deux valeurs cibles** :

- **120 µg/m³** comme **le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures**, à ne pas dépasser plus de **25** jours par année civile, moyenne calculée sur 3 ans
- **18.000 µg/m³.h** comme **AOT-40**, moyenne sur 5 ans, calculée à partir des valeurs sur 1 heure de mai à juillet (entre 8 et 20 heures de l’Europe centrale)

Définition “*valeur cible*” : un niveau fixé dans le but d’éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l’environnement dans son ensemble, à atteindre là où c’est possible sur une période donnée.

Les valeurs cibles sont à atteindre à partir de 2010 : autrement dit, 2010 sera la première année dont les données seront utilisées pour calculer la conformité sur les 3 ou 5 années suivantes, selon le cas.

La directive 2002/3/CE du 12 février 2002 fixe également deux objectifs à long terme :

- **120 µg/m³** comme **le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures**, pendant une année civile
- **6.000 µg/m³.h** comme **AOT-40**, calculée à partir de valeurs sur 1 heure de mai à juillet (entre 8 et 20 heures de l’Europe centrale)

Définition “*objectif à long terme*” : une concentration d’ozone dans l’air ambiant en dessous de laquelle, selon les connaissances scientifiques actuelles, des effets nocifs directs sur la santé humaine et/ou sur l’environnement dans son ensemble sont peu probables. Sauf lorsque cela n’est pas faisable par des mesures proportionnées, cet objectif doit être atteint à long terme, afin d’assurer une protection efficace de la santé humaine et de l’environnement.

La réalisation de l’objectif à long terme a pour référence l’année 2020.

En plus la directive 2002/3/CE du 12 février 2002 fixe un **seuil d'information** et un **seuil d'alerte** :

- **seuil d'information** : **180 µg/m³** comme **valeur horaire**
- **seuil d'alerte** : **240 µg/m³** comme **valeur horaire**

Définition "**seuil d'information**" : un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population et à partir duquel des informations actualisées sont nécessaires.

Définition "**seuil d'alerte**" : un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de toute la population et à partir duquel les États membres prennent immédiatement des mesures conformément aux articles 6 (information du public) et 7 de la directive (article 7 - plans d'action à court terme en cas de dépassements pendant 3 heures consécutives).

Jusqu'au 9 septembre 2003 la directive antérieure 92/72/CE sur l'ozone restait en vigueur. Cette directive du 21 septembre 1992 fixait les valeurs seuils suivantes :

- **110 µg/m³** comme **valeur moyenne sur 8 heures**, à calculer quatre fois par jour ; valeur seuil pour la protection de la santé humaine
- **200 µg/m³** comme **valeur horaire** et **65 µg/m³** comme **valeur sur 24 heures** ; valeur seuil pour la protection de la végétation

La directive 92/72/CE fixait également un seuil d'information et un seuil d'alerte :

- **seuil d'information** : **180 µg/m³** comme **valeur horaire**
- **seuil d'alerte** : **360 µg/m³** comme **valeur horaire**

4.2.2 Valeurs d'ozone mesurées

Le tableau IV.10 reproduit les niveaux d'O₃ obtenus aux postes de mesure de la Région de Bruxelles-Capitale lors des périodes estivales successives '1^{er} avril – 30 septembre'. Il s'agit des niveaux des centiles P98 et P50 et de la valeur moyenne (MOY). L'évolution de la concentration moyenne annuelle est représentée dans le tableau IV.11.

Les résultats repris dans les deux tableaux montrent que les concentrations en ozone de l'été 2003 figurent parmi les plus élevées depuis le début des observations. Cette période estivale était la plus chaude depuis l'été 1976, lorsqu'il y a eu lieu à Bruxelles (section "Air" de l'IHE) une première tentative de mesurer la présence d'ozone, préalablement à l'installation des appareils de mesure O₃ dans le réseau télémétrique. Les résultats de ces tests n'ont pas été conservés, mais des concentrations horaires en ozone entre 200 et 240 µg/m³ ont été observées régulièrement (plusieurs jours) durant la période de canicule de fin juin 1976.

Au vu de la comparaison des résultats, il semble que les concentrations en ozone les plus élevées ont été mesurées à Uccle (R012), à Berchem-Ste-Agathe (B011) et au Parlement Européen (B006). Les niveaux de concentrations à Molenbeek (R001), St.-Catherine (B004), Haren (N043) et Woluwé-St-Lambert (WOL1) sont plus faibles.

Les postes de mesures à Uccle (R012) et Berchem (B011) sont moins directement sous influence des émissions du trafic. Dans une moindre mesure ceci est également le cas pour le poste situé au Parlement Européen (B006). A proximité de ces sites les émissions en NO sont plus faibles, ainsi que la destruction de l’ozone. Ces postes sont quasi idéalement situés pour pouvoir mesurer des concentrations élevées d’ozone à l’intérieur d’une agglomération.

Une grande destruction locale de l’ozone, entre autres par les émissions de NO liées à la densité de circulation, aux postes de mesure de Molenbeek, Ste-Catherine, Haren et Woluwé est responsable des concentrations plus faibles en ozone. En général, au centre-ville et à proximité des axes routiers (surplus en NO) la destruction d’ozone l’emporte sur la formation. Dans la périphérie et en aval des grandes villes la formation d’ozone devient plus importante que sa destruction.

Tableau IV.10 : **OZONE : VALEURS HORAIRES : P98 - P50 - Valeur MOYENNE (MOY)**

Période ESTIVALE : 1 AVRIL – 30 SEPTEMBRE
[Concentration en $\mu\text{g}/\text{m}^3$]

P98	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1
1994				168	169		144
1995				182	183		168
1996				140	140		127
1997	--			161	149		124
1998	113			131	128	--	104
1999	120			138	146	126	109
2000	108			123	129	93	97
2001	128	122	--	149	151	135	--
2002	114	118	119	127	127	113	98
2003	144	150	152	162	169	147	139
2004	111	118	121	133	135	112	125
2005	118	127	123	134	139	114	112

P50	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1
1994				43	51		35
1995				45	48		36
1996				42	44		32
1997	--			46	49		33
1998	43			48	51	--	36
1999	38			50	58	35	37
2000	38			45	50	27	30
2001	41	38	--	50	53	37	--
2002	41	41	48	47	51	36	32
2003	46	49	58	56	61	40	44
2004	41	43	50	49	55	35	45
2005	43	45	48	48	50	35	39

-- : moins dan 50% de données - (re)mise en service

MOY	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1
1994				49	56		42
1995				53	58		45
1996				47	48		37
1997	--			52	53		38
1998	45			50	53	--	38
1999	42			54	61	41	40
2000	40			48	52	31	33
2001	44	42	--	53	57	43	--
2002	43	44	50	49	52	40	35
2003	50	53	61	59	64	46	48
2004	43	46	52	51	57	39	47
2005	45	47	51	50	54	39	42

-- : moins de 50% des données - (re)mise en service

Tableau IV.11 : **OZONE – CONCENTRATION MOYENNE ANNUELLE [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]**

Période ANNUELLE : 1 JANVIER – 31 DÉCEMBRE

MOY	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1
1986					35		
1987					32		
1988					30		
1989					37		
1990					38		
1991					31		
1992					29		
1993				30	34		
1994				35	41		37
1995				42	43		34
1996				31	34		28
1997	--			38	41		27
1998	34			38	41		29
1999	33			41	47	31	32
2000	33			40	43	25	27
2001	31	28	--	39	42	29	--
2002	33	32	38	38	41	30	27
2003	35	35	41	42	45	32	34
2004	31	32	38	38	43	28	34
2005	33	33	37	39	41	28	32

-- : moins de 50% des données - (re)mise en service

4.2.3 Dépassements des valeurs seuils pour l'ozone – directive 2002/3/CE

Valeur cible pour la santé humaine

Selon la directive ozone la plus récente, le nombre de jours avec une valeur maximale sur 8 heures supérieure à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, moyenné sur 3 années, ne peut excéder 25 à partir de l'an 2010. Autrement dit, 2010 sera la première année dont les données seront utilisées pour calculer la conformité sur la période des 3 années suivantes (2010-2011-2012).

Le tableau IV.12 donne l'évolution des dépassements de la valeur cible pour la santé humaine. Les résultats représentent, par poste de mesure et pour l'ensemble de la Région de Bruxelles-Capitale, le nombre de jours avec dépassement, moyenné sur trois ans.

Tableau IV.12 : **OZONE - NOMBRE de JOURS par AN, moyenné sur 3 ans, avec VALEUR MAXIMALE sur 8 HEURES supérieure à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

Période : 1 JANVIER – 31 DÉCEMBRE

Période	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1	RBC
1986 - 1988					(5)			
1987 - 1989					15			
1988 – 1990					21			
1989 – 1991					25			25
1990 – 1992					21			21
1991 – 1993					18			18
1992 – 1994					24			25
1993 - 1995				27	30			31
1994 – 1996				28	28		18	31
1995 – 1997				29	27		15	31
1996 – 1998				20	18		9	22
1997 – 1999				22	22		6	25
1998 - 2000	7			15	18		4	19
1999 – 2001	10			19	22	10	(2)	23
2000 – 2002	10	6		17	17	9	7	19
2001 – 2003	15	14	14	27	26	17	11	29
2002 – 2004	11	14	17	23	25	13		27
2003 – 2005	11	16	17	24	27	14	12	29

Toutes les années avec un temps estival chaud et ensoleillé durant les mois de juillet ou août, ont plus de 25 jours de dépassement. Apparemment le nombre de dépassements est plus limité pour les périodes estivales avec un temps modéré au cours de ces deux mois.

Les mesures d’ozone à Bruxelles commencent en 1986. Les millésimes avec étés riches en ozone durant cette période sont 1989, 1990, 1994, 1995 et 2003. Le plus grand nombre de jours avec dépassement de la valeur maximale sur 8 heures a été relevé en 2003 (45 jours de dépassement), suivi par 1995 (43) et 1989 (35). Le nombre élevé de jours de dépassement de ces années là font que le nombre de jours correspondant, moyenné sur 3 ans, dépasse les 25 jours.

En moyenne sur 3 ans, le nombre de jours avec dépassement varie entre 20 et 30. Deux périodes estivales moyennement riches en ozone, ou un été très riche, sur trois ans entraînent un dépassement de la valeur moyenne de 25 jours avec dépassement de seuil, valeur cible à partir de 2010. Le nombre moyen de jours avec dépassement sur plus long terme (1989-2005) est égale à 25. Vu le mécanisme de la formation de l’ozone, d’une part, et de la tendance légèrement à la hausse de la concentration moyenne d’ozone, d’autre part, pouvoir répondre à cet objectif d’ici l’an 2010 n’est pas encore garanti.

L’évolution du nombre de jours avec dépassement de la valeur cible, à savoir $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en tant que maximum journalière sur 8 heures, est représentée à la figure 4.22. Le graphique donne, pour l’ensemble de la Région de Bruxelles-Capitale, le nombre de jours avec dépassement par an, le nombre moyen par période de 3 ans et le nombre moyen depuis le début des mesures.

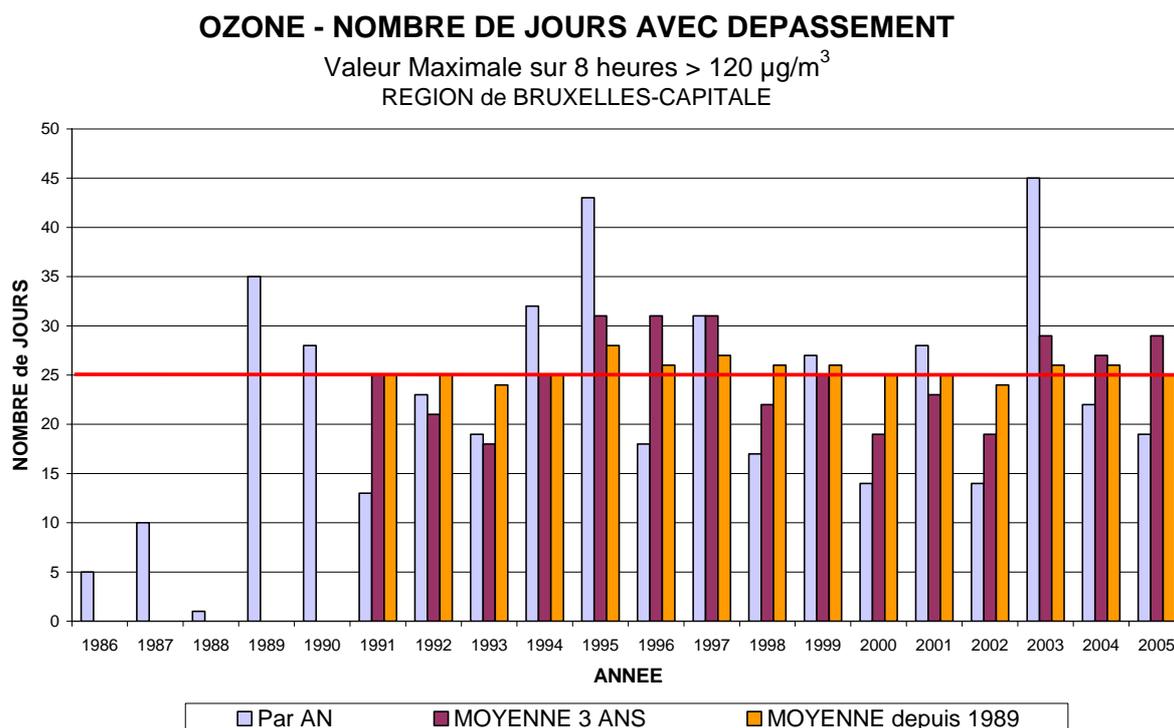


Fig. 4.22 : Ozone – nombre de jours avec dépassement en Région de Bruxelles-Capitale
 Valeur cible – Valeur maximale sur 8 heures supérieure à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 Nombre de jours avec dépassement par an, nombre moyen par période de trois ans
 et nombre moyen depuis le début des mesures

Valeur cible pour la végétation :

La directive sur l'O₃ donne également une valeur cible pour la protection de la végétation : l'**AOT40 calculé** (= l'AOT40 mesuré et corrigé à 100%) dans la période de mai à juillet, entre 8 et 20 h, heure de l'Europe centrale, et moyenné sur 5 ans, ne peut être supérieur à **18.000 µg/m³.h**. La valeur cible devra être atteinte en 2010. Autrement dit, 2010 sera la première année dont les données seront utilisées pour calculer la conformité sur la période des 5 années suivantes (2010-2011-2012-2013-2014).

L'objectif à plus long terme, avec 2020 comme année de référence, est un AOT40 qui ne dépasserait pas **6.000 µg/m³.h**.

Cette exposition au-dessus de 40 ppb (= 80 µg/m³) est calculée comme suit : pour la période considérée '*1^{er} mai – 31 juillet*', pour chaque valeur horaire de l'O₃ supérieure à 80 µg/m³, on fait la somme de tous les soldes positifs.

Cet **AOT40 mesuré** n'est accepté que si au moins 90% des valeurs horaires sont disponibles. Par après l'AOT40 mesuré est corrigé pour une disponibilité de 100% des valeurs horaires. L'**AOT40 calculé** est alors obtenu :

$$\text{AOT40}_{\text{(calculée)}} = \text{AOT40}_{\text{(mesurée)}} * (\text{nombre total d'heures} / \text{nombre d'heures disponibles})$$

Il y a un lien entre l'**AOT40-MJ** (*mai-juillet*) ainsi calculée et le rendement moyen des terres agricoles et des prairies. Pour les dégâts aux forêts, un niveau **AOT40-AS** (*avril-septembre*) est calculé pendant une période de 6 mois, soit d'avril à septembre. La valeur cible de l'AOT40 calculée pour cette période est de 20.000 µg/m³.h.

Les niveaux **AOT40-MJ** (*mai-juillet*), moyennés sur 5 ans, sont énumérés dans le tableau IV.13. L'évolution des niveaux AOT40-MJ, observés dans certains postes de mesure, est graphiquement représentée à la figure 4.23. Des lignes horizontales, traversant le graphique, indiquent les niveaux correspondants à la valeur cible (18.000 µg/m³.h) et à l'objectif à plus long terme (6.000 µg/m³.h - 2020).

En moyenne sur 5 ans, dans aucun des postes de mesure, on ne relève de valeur de l'AOT40-MJ supérieure à 18.000 µg/m³.h. Des valeurs inférieures à l'objectif à long terme, à savoir 6.000 µg/m³.h, sont pour l'instant loin d'être accessibles dans les postes de mesure d'Uccle (R012) et de Berchem-Ste-Agathe (B011).

Les niveaux **AOT40-AS** (*avril-septembre*), moyennés sur 5 ans, sont énumérés dans le tableau IV.14. L'évolution des niveaux, observés dans certains postes de mesure, est graphiquement représentée à la figure 4.24. Le niveau de la valeur cible de 20.000 µg/m³.h est également indiqué par une ligne horizontale.

Les résultats de l'**AOT40-AS** (*avril-septembre*) sont assez proches ou dépassent légèrement (poste de mesure d'Uccle) la valeur de 20.000 µg/m³.h.

Tableau IV.13 : **AOT40-MJ, MOYENE sur 5 ANS**

AOT40-MJ – période **MAI – JUILLET** (8 – 20 h – heure de l'Europe centrale)

[AOT40 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ – Calculé pour une disponibilité de 100%]

Période	AOT40 – MAI-JUILLET						
	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1
1986 – 1990					13.223		
1987 – 1991					12.914		
1988 – 1992					14.292		
1989 – 1993					15.906		
1990 – 1994					15.086		
1991 – 1995					16.366		
1992 – 1996					17.404		
1993 – 1997				15.273	16.554		
1994 – 1998				15.656	16.181		8.654
1995 – 1999				13.691	14.810		6.545
1996 – 2000				11.134	11.398		4.606
1997 – 2001	5.111			11.522	12.049		3.165
1998 – 2002	6.100			10.614	11.885	5.462	2.735
1999 – 2003	6.846			11.797	13.736	7.226	3.626
2000 – 2004	5.901	5.862		10.420	12.056	6.138	3.713
2001 – 2005	6.856	7.906	7.164	11.359	13.295	7.158	4.422

Tableau IV.14 : **AOT40-AS, MOYENNE sur 5 ANS**

AOT40-AS – période **AVRIL – SEPTEMBRE** (8 – 20 h – heure de l'Europe centrale)

[AOT40 en $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ – Calculé pour une disponibilité de 100%]

	AOT40 – AVRIL - SEPTEMBRE						
Période	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1
1986 - 1990					20.116		
1987 – 1991					20.858		
1988 – 1992					21.949		
1989 – 1993					23.654		
1990 - 1994					22.947		
1991 - 1995					23.524		
1992 – 1996					23.943		
1993 – 1997				23.494	24.929		
1994 – 1998				24.266	24.482		13.981
1995 – 1999				22.811	23.757		12.038
1996 – 2000				18.464	18.739		7.618
1997 – 2001	7.060			18.710	19.598		5.469
1998 – 2002	8.313			15.386	17.926	7.677	4.169
1999 – 2003	10.750			18.828	22.491	11.358	6.464
2000 – 2004	10.313	10.516		18.036	21.162	10.575	7.324
2001 - 2005	11.247	13.103	12.567	19.047	22.250	11.636	8.145

OZONE - AOT40-MJ - en MOYENNE sur 5 ANS

Période : MAI - JUILLET - 8-20 h de l'Europe Centrale

AOT calculé à 100% de disponibilité

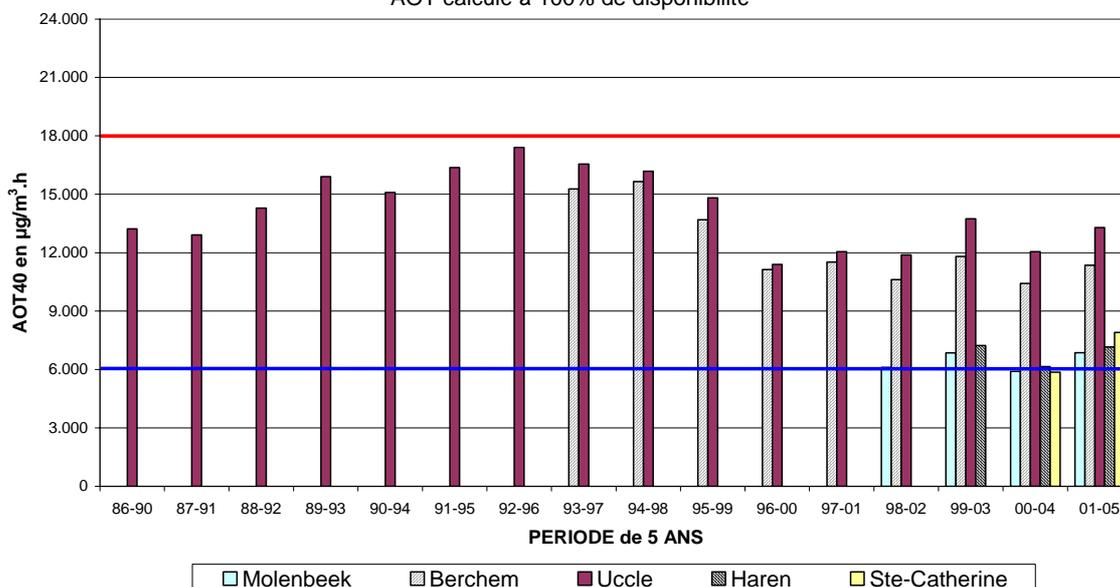


Fig. 4.23 : Ozone – Évolution de l'AOT40-MJ – Résultats moyennés sur 5 ans
AOT40 de la période Mai-Juillet, de 8 à 20 h – heure de l'Europe centrale
Valeurs AOT40-calculées pour une disponibilité de 100% des données

OZONE - AOT40-AS - en MOYENNE sur 5 ANS

Période : AVRIL - SEPTEMBRE - 8-20 h de l'Europe Centrale

AOT calculé à 100% de disponibilité

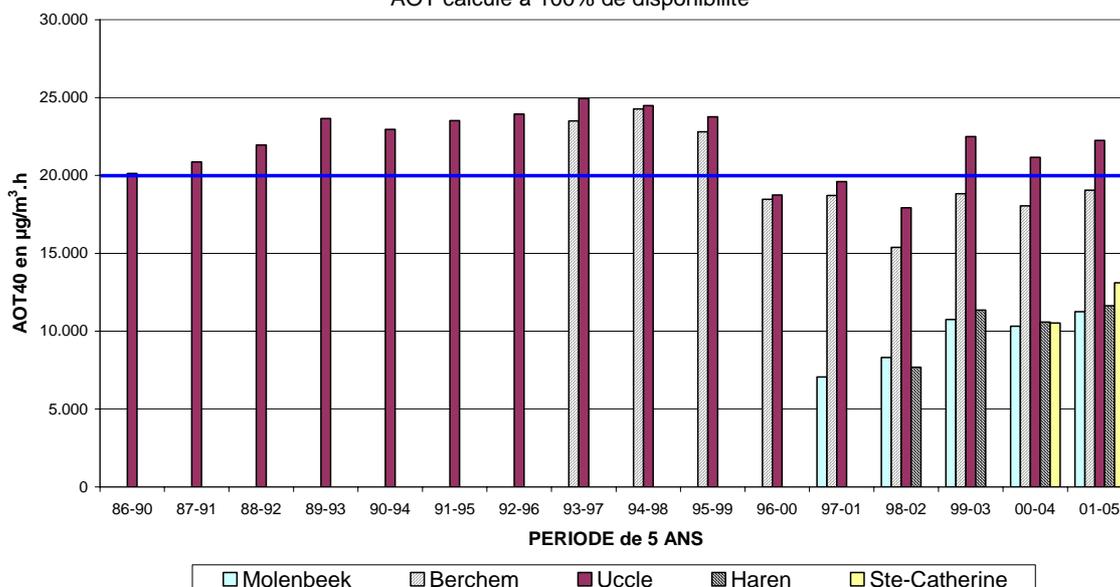


Fig. 4.24 : Ozone – Évolution de l'AOT40-AS – Résultats moyennés sur 5 ans
AOT40 de la période Avril-Septembre, de 8 à 20 h – heure de l'Europe centrale
Valeurs AOT40-calculées pour une disponibilité de 100% des données

Seuil d'information – 180 µg/m³ en tant que valeur horaire :

Le tableau IV.15 représente l'évolution du nombre de jours avec dépassement du seuil d'information à la population. Pour chaque année le nombre de dépassements est donné par poste de mesure et pour l'ensemble de la Région de Bruxelles-Capitale.

**Tableau IV.15 : NOMBRE de JOURS avec DÉPASSEMENT
du SEUIL d'INFORMATION – 180 µg/m³**

Période : JANVIER – DÉCEMBRE
Résultats par poste de mesure et sur l'ensemble de la Région (RBC)

ANNÉE	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1	RBC
1986					(1)			1
1987					(1)			1
1988					(0)			0
1989					12			12
1990					10			10
1991					3			3
1992					6			6
1993				(1)	7			7
1994				9	12		(6)	13
1995				19	20		14	24
1996				1	2		0	2
1997				8	4		0	8
1998	(0)			4	4		1	4
1999	0			4	2	(1)	0	4
2000	0	(0)		1	1	1	0	1
2001	0	0	(0)	3	5	2	(0)	6
2002	0	8	0	1	2	1	0	2
2003	4	7	8	11	11	9	5	12
2004	0	2	0	3	4	3	1	4
2005	2	2	2	3	4	1	2	4

() : moins de 90% des données disponibles

La plupart des jours avec dépassement des seuils sur une courte durée (valeurs horaires), ont été enregistrés durant les chaudes périodes estivales, riches en ozone, de 1995 (24 jours), suivi par la période estivale de 1994 (13 jours), 2003 et 1989 (12 jours) et 1990 (10 jours). Ce constat est en concordance avec ce qui ressort de la présentation graphique de fréquences cumulées (voir plus loin), à savoir la présence plus fréquente de valeurs pics élevées pour l'O₃ durant les périodes estivales les plus chaudes.

Seuil d'alerte – 240 µg/m³ en tant que valeur horaire :

Le tableau IV.16 donne un aperçu du nombre de jours avec dépassement du seuil d'alerte. Pour chaque année le nombre de dépassement est donné par poste de mesure et pour l'ensemble de la Région de Bruxelles-Capitale.

**Tableau IV.16 : NOMBRE de JOURS avec DÉPASSEMENT
du SEUIL d'ALERTE – 240 µg/m³**

Période : JANVIER – DÉCEMBRE
Résultats par poste de mesure et pour l'ensemble de la Région (RBC)

ANNÉE	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1	RBC
1986					(0)			0
1987					(0)			0
1988					(0)			0
1989					3			3
1990					0			0
1991					0			0
1992					0			0
1993				0	1			1
1994				1	1		(0)	2
1995				2	3		0	3
1996				0	0		0	0
1997				0	0		0	0
1998	(0)			0	0		0	0
1999	0			0	0	(0)	0	0
2000	0	(0)		0	0	0	0	0
2001	0	0	(0)	0	0	0	(0)	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	0	0	0	0	2	1	0	2
2004	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	0	0

() : moins de 90% des données disponibles

Des valeurs horaires d'ozone supérieures à 240 µg/m³ à Bruxelles ont seulement été constatées pendant les étés riches en ozone de 1994, 1995 et 2003.

Aperçu des Dépassements selon la directive 2002/3/CE :

Le tableau IV.17 donne un aperçu de l'évolution du nombre de dépassements du seuil d'information ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comme valeur horaire), du seuil d'alerte ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comme valeur horaire) et de la valeur cible ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comme valeur maximale sur 8 heures de la journée). Il s'agit du nombre de jours où au moins un des postes de mesure de la Région est en situation de dépassement. L'évolution des dépassements est graphiquement présentée à la figure 4.25.

Nombre de jours avec :

- valeurs horaires supérieures à $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [Nd_1Hr > 180]
- valeurs horaires supérieures à $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [Nd_1Hr > 240]
- valeur maximale sur 8 heures supérieure à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [Nd_8HrMax > 120]
- valeur max. sur 8h > $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, moyenné sur 3 ans [Nd3Yr_8HrMax > 120]

Tableau IV.17: **OZONE - NOMBRE de JOURS avec DÉPASSEMENT en RBC**

Période ANNUELLE : 1 JANVIER – 31 DÉCEMBRE

ANNÉE	Nd_1Hr > 180	Nd_1Hr > 240	Nd_8HrMax > 120	Nd_3Yr_8HrMax > 120
1986	1	0	5	
1987	1	0	10	
1988	0	0	1	
1989	12	3	35	
1990	10	0	28	
1991	3	0	13	25
1992	6	0	23	21
1993	7	1	19	18
1994	13	2	32	25
1995	24	3	43	31
1996	2	0	18	31
1997	8	0	31	31
1998	4	0	17	22
1999	4	0	27	25
2000	1	0	14	19
2001	6	0	28	23
2002	2	0	14	19
2003	12	2	45	29
2004	4	0	22	27
2005	4	0	19	29

La plupart des jours avec dépassement des seuils, mesurés sur une courte durée (*valeurs horaires*), ont été enregistrés durant les chaudes périodes estivales, riches en ozone, de 1994 et 1995, suivi par les périodes estivales de 1989, 2003 et 1990.

Ce constat est en concordance avec ce qui ressort de la présentation graphique de la distribution de fréquences cumulées (voir plus loin), à savoir la présence plus fréquente de valeurs pics plus élevées pour l'O₃ durant les périodes estivales les plus chauds.

Le plus grand nombre de périodes avec une exposition de longue durée (*valeurs sur 8 heures*) ont également été enregistrées durant les étés chauds, riches en ozone. La différence est moins flagrante par rapport au nombre de jours de dépassement des autres années civiles.

Selon la directive pour l'ozone en vigueur, le nombre de jours avec une valeur maximale sur 8 heures supérieure à 120 µg/m³, moyenné sur trois années, ne peut excéder 25 d'ici l'an 2010. Ce nombre est dépassé systématiquement durant les étés chauds. Par contre ce nombre reste inférieur à 20 pour les étés normaux. Vu le mécanisme de la formation d'ozone, d'une part, et la tendance légèrement à la hausse de la concentration moyenne d'ozone, d'autre part, atteindre cet objectif d'ici l'an 2010 n'est pas encore garanti.

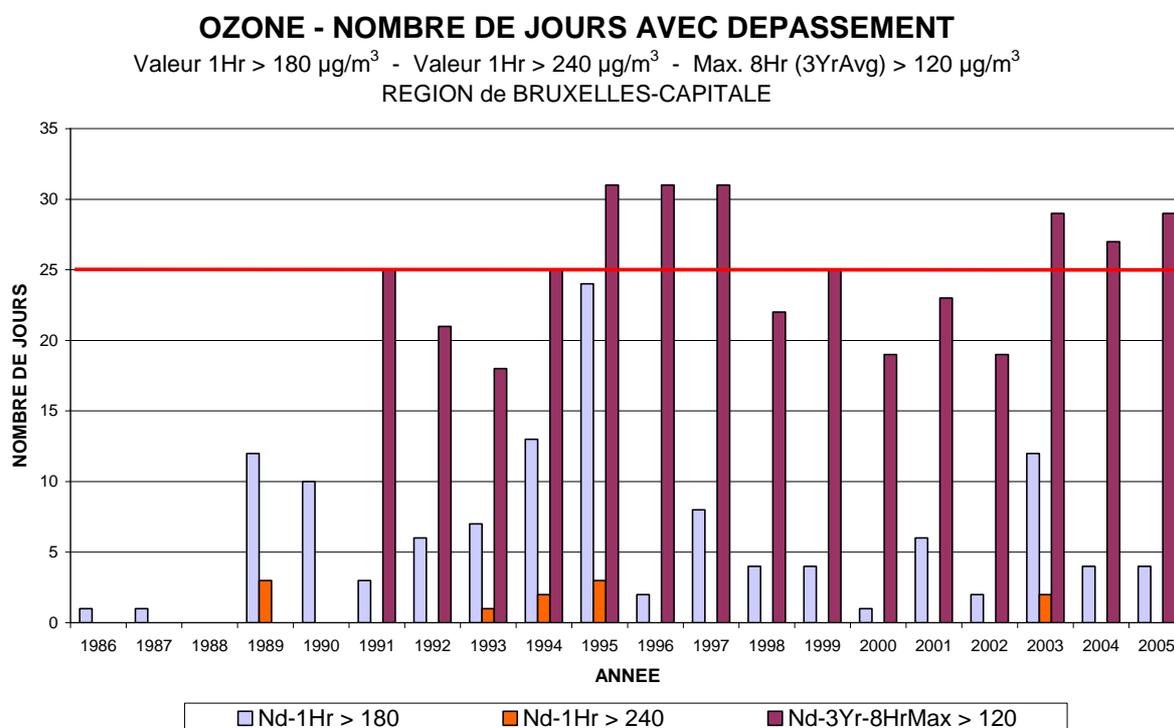


Fig. 4.25: Ozone : Évolution du de nombre de jours avec dépassement
 Périodes annuelles : 1 janvier – 31 décembre
 Valeur Horaire 180 µg/m³ - Valeur Horaire > 240 µg/m³
 Valeur maximale sur 8 heures > 120 µg/m³ (moyenne sur 3 ans)

4.2.4 Dépassements des valeurs seuils pour l'ozone – ancienne directive 1992/72/CE

Cette ancienne directive a été abrogée à partir du 9 septembre 2003. Puisque les valeurs seuils de cette directive étaient encore d'application sur les données ozone de l'été 2003, un aperçu sommaire du nombre de dépassements est donné au tableau IV.18.

Nombre de jours avec :

- valeurs horaires supérieures à 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [Nd_1Hr > 180]
- valeurs horaires supérieures à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [Nd_1Hr > 200]
- valeurs journalières supérieures à 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [Nd_24Hr > 65]
- valeurs sur 8 heures supérieures à 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [Nd_8Hr > 110]

Tableau IV.18: **OZONE - NOMBRE de JOURS avec DÉPASSEMENT dans la RÉGION**

Période ANNUELLE : 1 JANVIER – 31 DÉCEMBRE

ANNÉE	Nd_1Hr	Nd_1Hr	Nd_24Hr	Nd_8Hr
	> 180	> 200	> 65	> 110
1986	1	1	19	12
1987	1	1	15	12
1988	0	0	10	5
1989	12	7	41	40
1990	10	7	31	28
1991	3	1	17	14
1992	6	3	24	22
1993	7	4	24	22
1994	13	8	56	36
1995	24	12	57	45
1996	2	0	38	23
1997	8	1	51	33
1998	4	2	50	17
1999	4	0	79	35
2000	1	0	39	17
2001	6	2	60	30
2002	2	1	59	20
2003	12	6	91	51
2004	4	3	64	24
2005	4	2	49	23

Des dépassements du seuil de 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ n'ont jamais été constatés à Bruxelles.

Le plus grand nombre de jours de dépassement de la valeur journalière, indiquant une exposition plus permanente, est constaté en 2003. En moyenne, il y a eu à partir de la fin des années '90 plus de dépassements que pendant la période précédente.

Le plus grand nombre des dépassements de ce type ne se manifestent pas nécessairement durant les périodes très riches en ozone (été 1994 ou 1995). La tendance légèrement à la hausse de la concentration moyenne en ozone est en concordance avec le nombre croissant de valeurs journalières supérieures à $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La figure 4.26 resume, pour les périodes annuelles à partir de 1986, l'historique du nombre de jours avec dépassements des valeurs seuils suivantes : valeurs horaires supérieures à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valeurs sur 8 heures supérieures à $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et valeurs journalières supérieures à $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

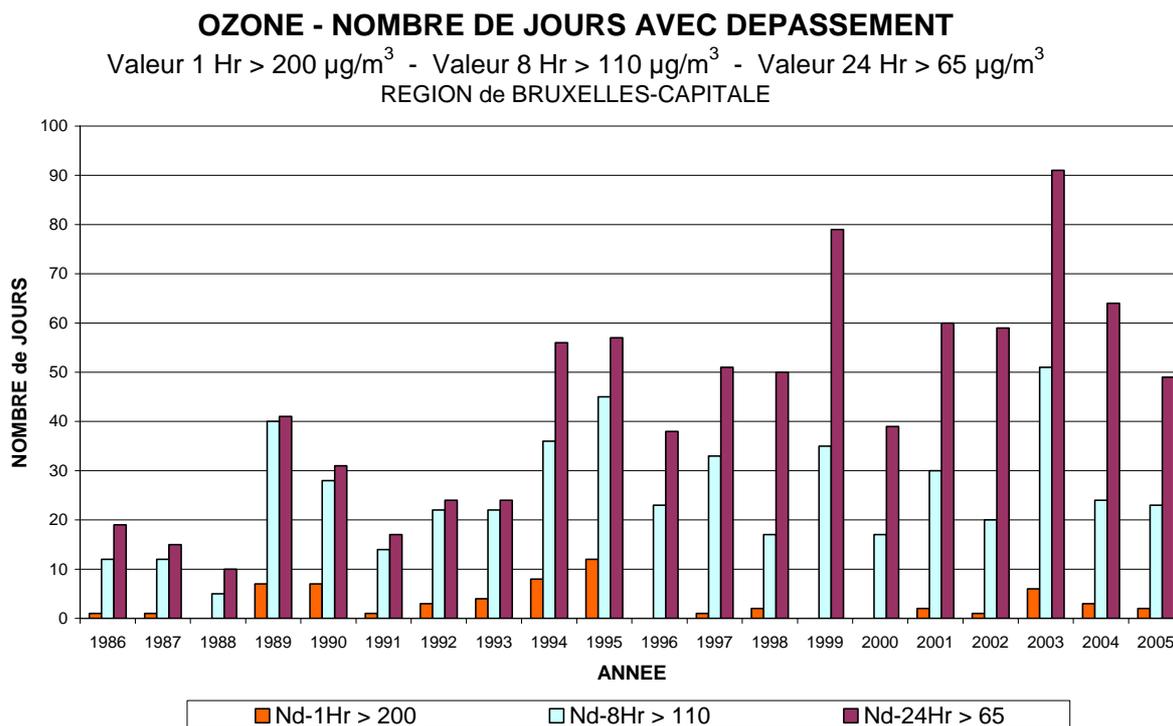


Fig. 4.26: Évolution du nombre de jours avec dépassements – Directive 1992/72/CE
 Périodes annuelles : 1 janvier – 31 décembre
 Valeur Horaire > $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - Valeur sur 8 heures > $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - Valeur journalière > $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$

4.2.5 Évolution à long terme des concentrations en ozone

La figure 4.27 reproduit l'évolution dans le temps de la pollution à l'O₃ pour la période 1986 à 2005. Les graphiques présentent la distribution de fréquences cumulées pour les périodes estivales '1^{er} avril – 30 septembre'. Les résultats pour les différents centiles sont calculés sur la base des valeurs moyennes horaires.

Le graphique du dessus donne l'évolution au poste de mesure d'Uccle (R012), où l'ozone fait l'objet de mesures depuis 1986 déjà. Les périodes estivales plus chaudes de 1989, 1990, 1994, 1995 et 2003 se dégagent clairement de l'évolution des valeurs, et plus précisément les niveaux plus élevés des centiles supérieurs (P70 à P98). Le graphique du dessous donne l'évolution à partir de 1993 au poste de mesure de Berchem-Ste-Agathe (B011). Les périodes estivales chaudes et riches en ozone de 1994, 1995 et 2003 en ressortent aussi clairement. Le nombre de dépassements des valeurs seuils pour une exposition de courte durée (valeurs horaires – p.ex. seuil d'information) fait apparaître une diminution du nombre ou de la grandeur des valeurs pics d'ozone.

Dans les deux graphiques, on note une légère tendance à la hausse de la concentration moyenne d'ozone depuis le début des constatations. C'est probablement la conséquence de la réduction des émissions de NO, qui réduit la quantité de NO présente pour détruire l'ozone.

La comparaison des niveaux de concentrations observés dans les différents postes de mesure est représentée graphiquement à la figure 4.28. Le graphique du dessus fait référence à la période hivernale 'octobre 2004 – mars 2005' et celui du dessous à la période estivale 'avril – septembre 2005'. Les concentrations en période estivale sont nettement plus élevées qu'en période hivernale. Les niveaux les plus élevés ont été constatés aux postes de mesure d'Uccle (R012) et Berchem (B011), qui sont plus protégés de l'influence directe du trafic.

Un historique détaillé, reprenant les résultats calculés de la distribution de fréquences cumulées pour des périodes annuelles, des périodes estivales (avril – septembre) et des périodes hivernales (octobre – mars) est donné aux annexes B, C et D.

La figure 4.29 donne un aperçu de la distribution spatiale de la concentration d'ozone. Les roses de pollution, avec une représentation de la concentration moyenne d'ozone par secteur de vent, sont dessinées avec, en fond, une carte de la Région. La carte du dessus donne la situation pendant la période hivernale 'octobre 2004 – mars 2005' et la carte du dessous renvoie à la période estivale 'avril – septembre 2005'. Les concentrations sont plus élevées en été ainsi qu'aux endroits moins directement exposés à la pollution due à la circulation. Dans le centre de la Région et aux endroits avec une surabondance de NO, l'ozone est détruit, entraînant une formation locale de NO₂. En périphérie et aux endroits où il y a peu de trafic, la formation d'ozone se poursuit sans encombre et le peu de NO disparaît presque entièrement.

La figure 4.30 donne une représentation graphique de l'évolution hebdomadaire moyenne pour les postes de mesure d'Uccle. La moyenne, la médiane (P50) et les centiles P10 et P90 sont mis en graphique par période horaire. Ces deux dernières valeurs délimitent approximativement la zone dans laquelle la concentration peut varier de jour en jour. Le graphique au-dessus renvoie à la période hivernale 'octobre 2004 – mars 2005' et le graphique en-dessous, à la période estivale 'avril – septembre 2005'. En été, les concentrations d'ozone sont manifestement plus élevées qu'en hiver. Les variations dans le profil journalier d'été s'expriment davantage et les valeurs varient sur une gamme de concentrations plus large.

La figure 4.31 reproduit l'évolution journalière moyenne pour l'O₃, calculée sur base des données de tous les jours de la période 'mai – août'. La situation dans trois différents postes de mesure est comparée. Les postes de mesure d'Uccle et de Berchem sont moins exposés au trafic et le profil journalier d'O₃ atteint un niveau plus élevé qu'à Haren. Le surplus de NO, provenant du trafic, est responsable d'une destruction plus importante d'O₃ à Haren. Le graphique au-dessus fait référence à la période estivale de 2003 et celui en dessous à la période estivale de 2005. Le profil journalier obtenu pour la période estivale plus chaude de 2003 est clairement plus élevé que le profil calculé pour 2005.

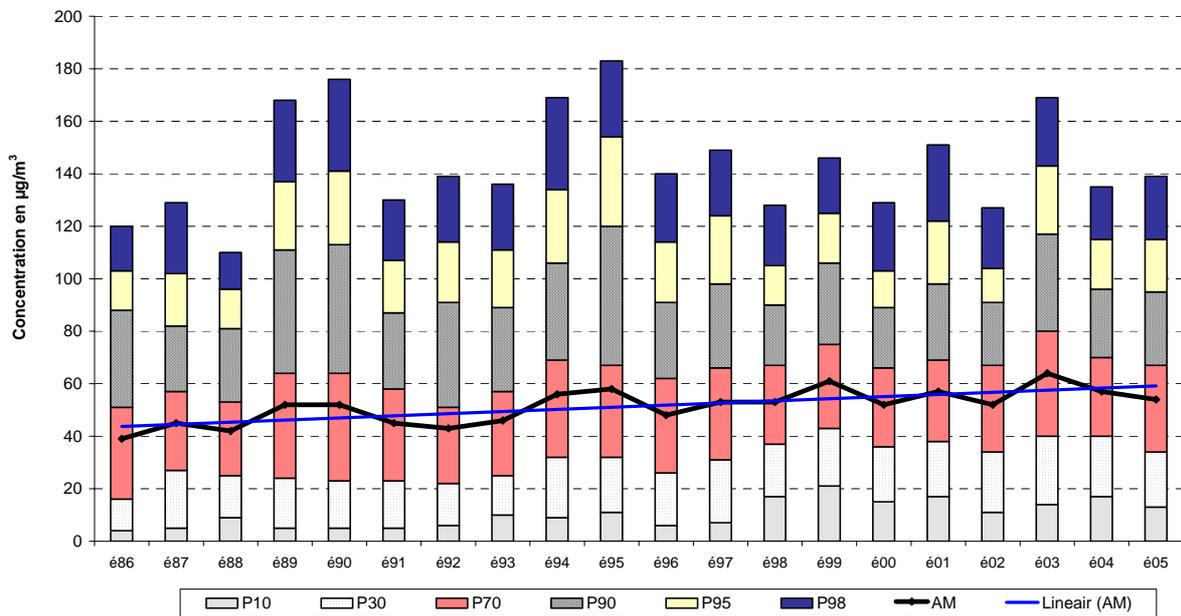
La figure 4.32 reproduit l'évolution journalière moyenne pour le NO₂ et pour la somme de [O₃ + NO₂], exprimée en quantités équivalentes d'ozone. Les résultats sont calculés pour les trois mêmes stations et pour la sélection 'tous les jours' de la période 'mai – août 2003'. Le profil journalier du NO₂ est tout à fait complémentaire au profil journalier de l'ozone. Les niveaux les plus élevés se présentent à Haren : une partie du NO, plus présent à cet endroit, est oxydée par l'ozone en NO₂. L'aspect complémentaire de ces deux profils est clairement illustré dans le graphique en dessous, reprenant le profil journalier de la somme [O₃ + NO₂].

Les graphiques de la figure 4.33 représentent, respectivement pour les postes d'Uccle et de Haren, le profil journalier calculé pour la période estivale 'avril – septembre 2003'. A cet égard, une distinction est opérée entre la situation les *jours ouvrables* et les *jours non ouvrables*.

Les concentrations d'O₃ sont en moyenne **plus élevées** les *jours non ouvrables* (samedi, dimanche et jours fériés) et en moyenne **plus faibles** les *jours ouvrables*. Les différences sont plus flagrantes aux postes de mesure situés à proximité de la circulation (Haren). Cette différence entre la situation les jours ouvrables et les jours non ouvrables est constatée chaque année (voir rapports de l'IBGE sur la qualité de l'air en période estivale : 1994-2005). Il y a plus de circulation les jours ouvrables et en raison de la plus grande disponibilité de NO, il y a plus d'ozone détruit. Le week-end et les jours fériés, la circulation est globalement moins intense. Étant donné qu'il y a moins de NO présent, il y a moins d'ozone détruit.

La figure 4.34 reproduit l'évolution journalière moyenne de la somme [O₃ + NO₂], exprimée en quantités équivalentes d'ozone. L'aspect complémentaire entre le profil O₃ et NO₂ se manifeste tant entre postes de mesures qu'entre *jours ouvrables* et *non-ouvrables*. Chaque année, on constate que le profil journalier du NO₂ connaît une évolution tout à fait complémentaire à celle de l'ozone, avec des **valeurs plus faibles** les *jours non ouvrables* et des **valeurs plus élevées** les *jours ouvrables*. La somme des concentrations d'O₃ et de NO₂, et leurs profils journaliers sont pratiquement identiques à tous les postes de mesure de la Région.

OZONE à UCCLÉ (R012) - EVOLUTION dans le TEMPS
DISTRIBUTION DES FREQUENCES CUMULEES - VALEURS HORAIRES
 Période Estivale "AVRIL - SEPTEMBRE"



OZONE à BERCHEM-Ste-Agathe (B011) - EVOLUTION dans le TEMPS
DISTRIBUTION DES FREQUENCES CUMULEES - VALEURS HORAIRES
 Période Estivale "AVRIL - SEPTEMBRE"

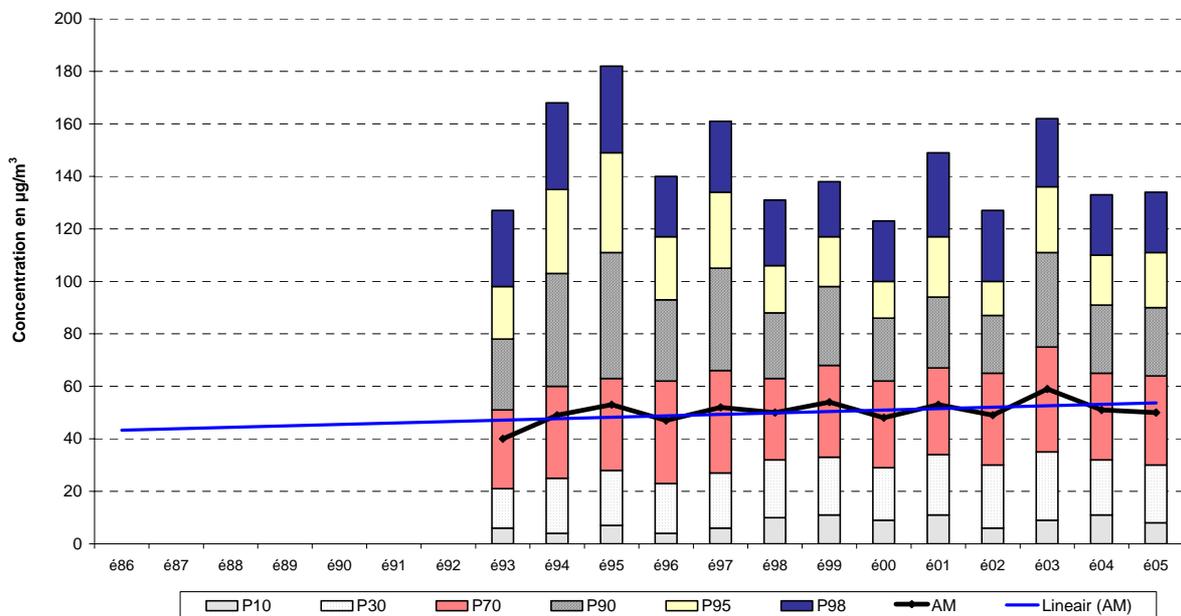
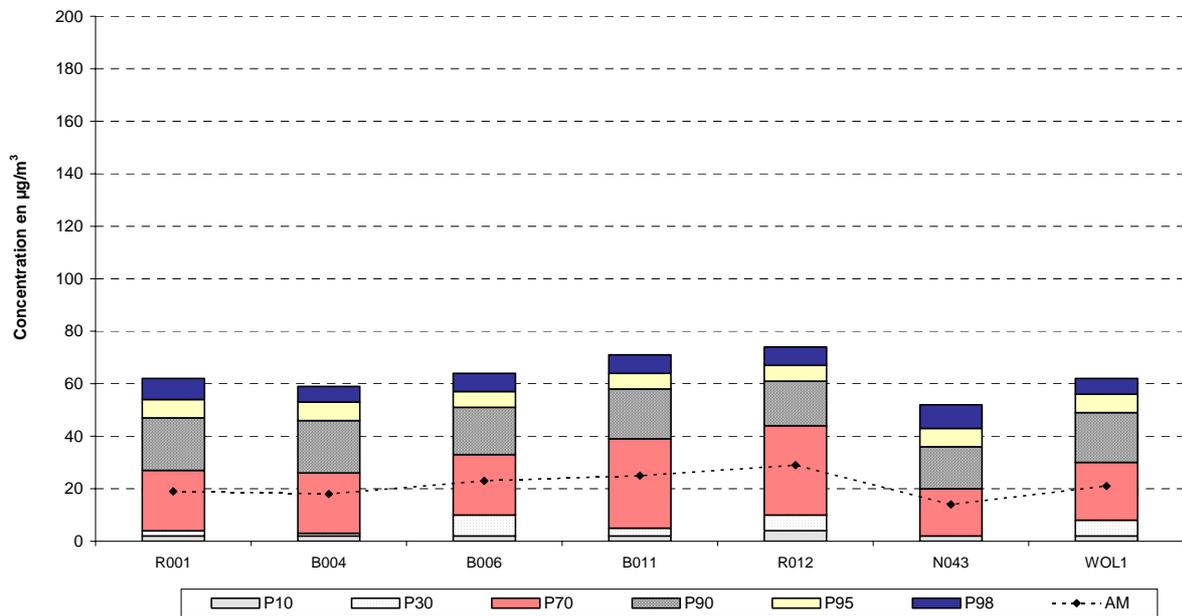


Fig. 4.27 : Ozone - Évolution des concentrations à Uccle (R012) et Berchem (B011)
 Périodes estivales 1986 – 2005

O₃ - COMPARAISON POSTES de MESURE
DISTRIBUTION DES FREQUENCES CUMULEES - VALEURS HORAIRES
 Période HIVERNALE "OCTOBRE 2004 - MARS 2005"



O₃ - COMPARAISON POSTES de MESURE
DISTRIBUTION DES FREQUENCES CUMULEES - VALEURS HORAIRES
 Période ESTIVALE "AVRIL - SEPTEMBRE 2005"

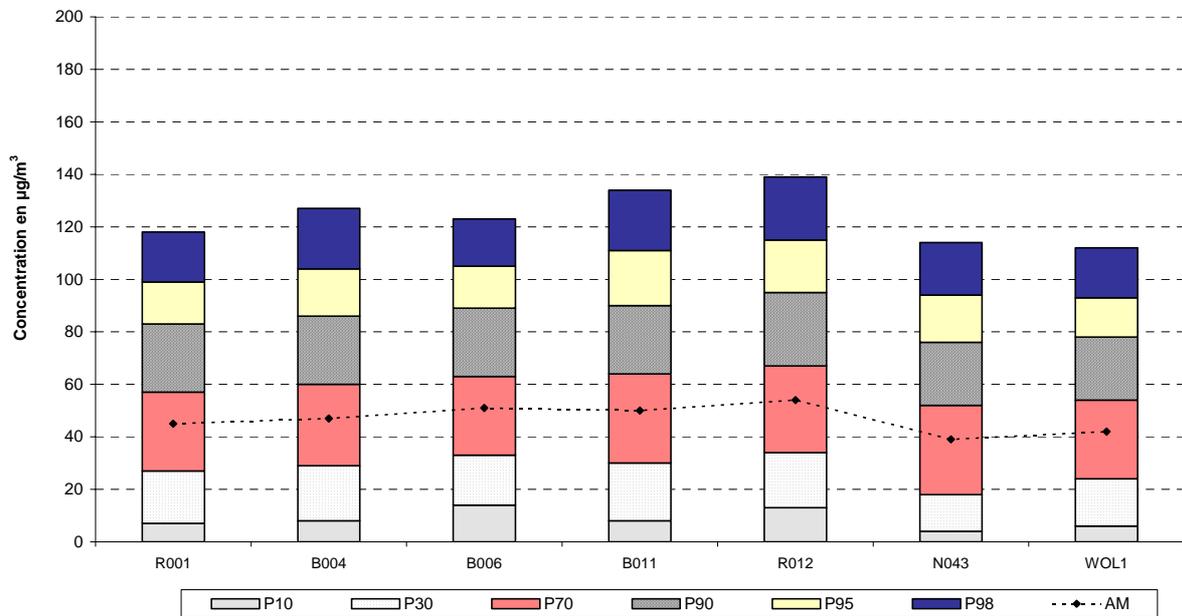


Fig. 4.28 : Ozone - Comparaison des niveaux de concentration entre différents postes de mesure Période Hivernale 'octobre 2004 – mars 2005' et période Estivale 'avril – septembre 2005'

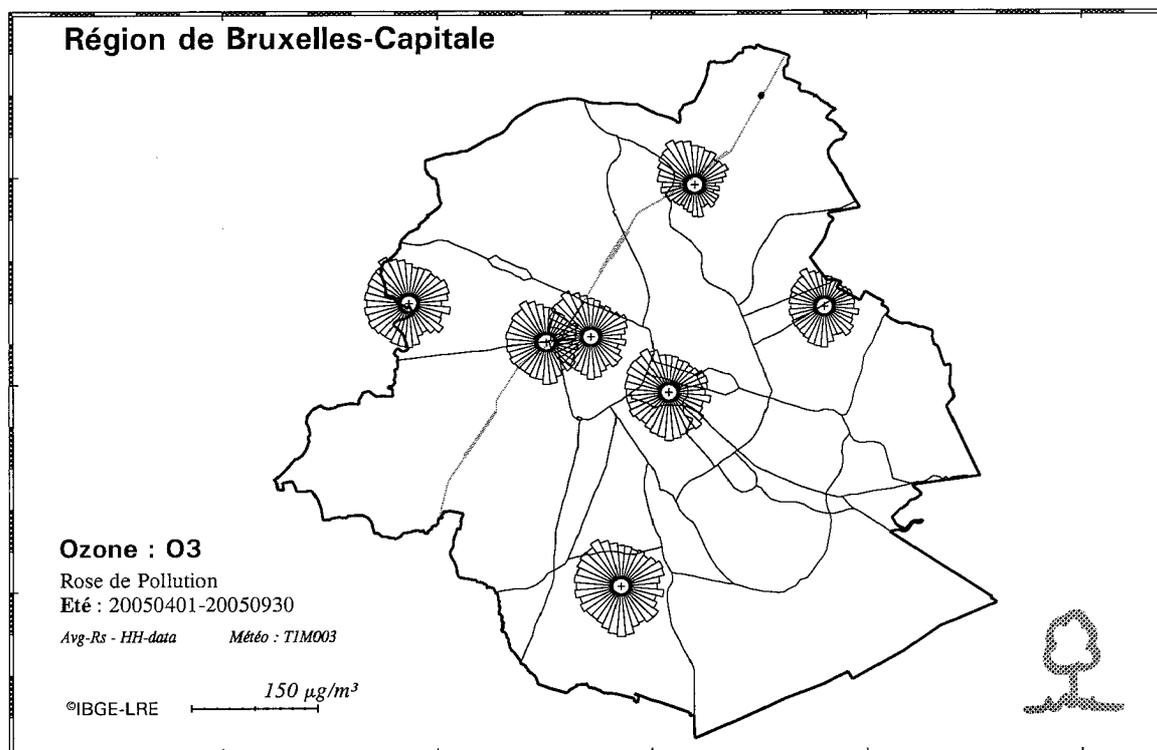
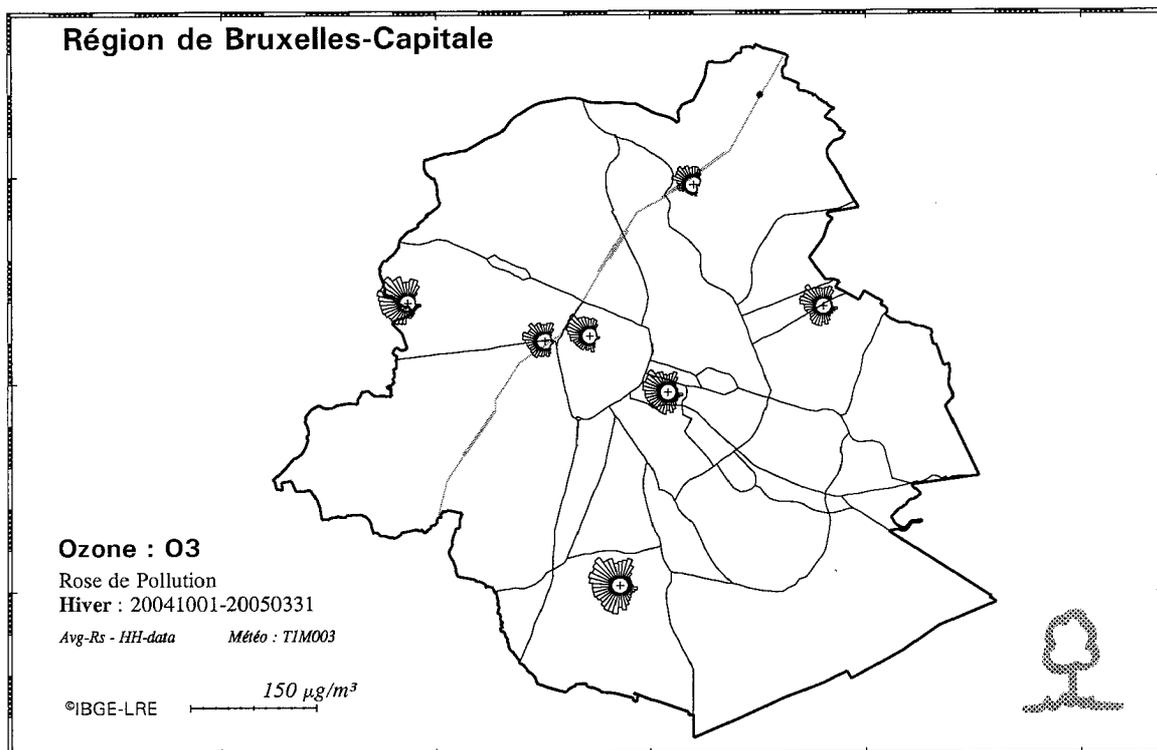
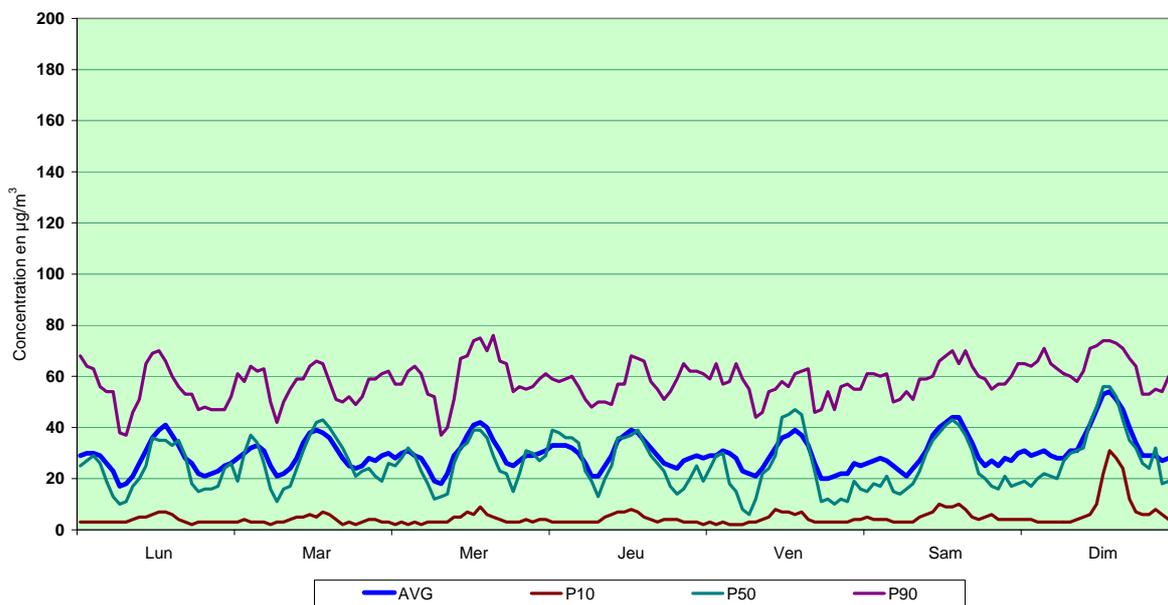


Fig. 4.29 : Roses de Pollution – distribution spatiale des concentrations ozone en hiver et en été

O₃ à UCCLE (R012)
 EVOLUTION HEBDOMADAIRE MOYENNE
 Période HIVERNALE : OCTOBRE 2004 - MARS 2005



O₃ à UCCLE (R012)
 EVOLUTION HEBDOMADAIRE MOYENNE
 Période ESTIVALE : AVRIL - SEPTEMBRE 2005

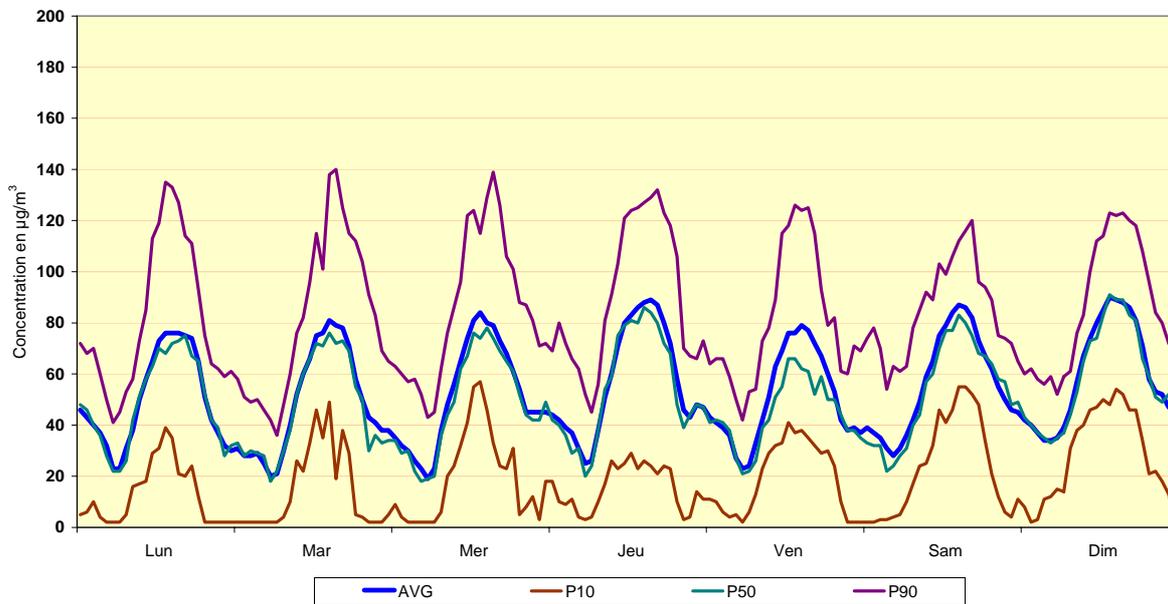


Fig. 4.30 : Ozone à Uccle – Évolution hebdomadaire moyenne des concentrations en hiver et en été. Concentration moyenne (AVG), centile P10, la médiane (P50) et centile P90.

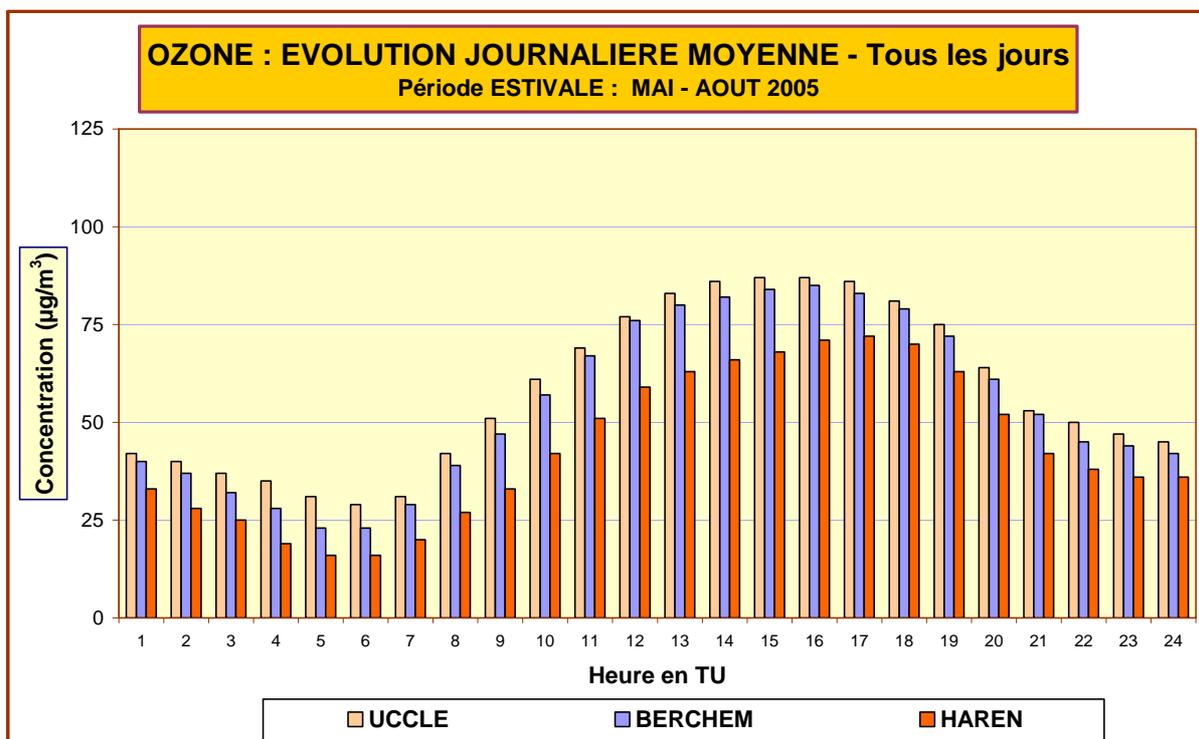
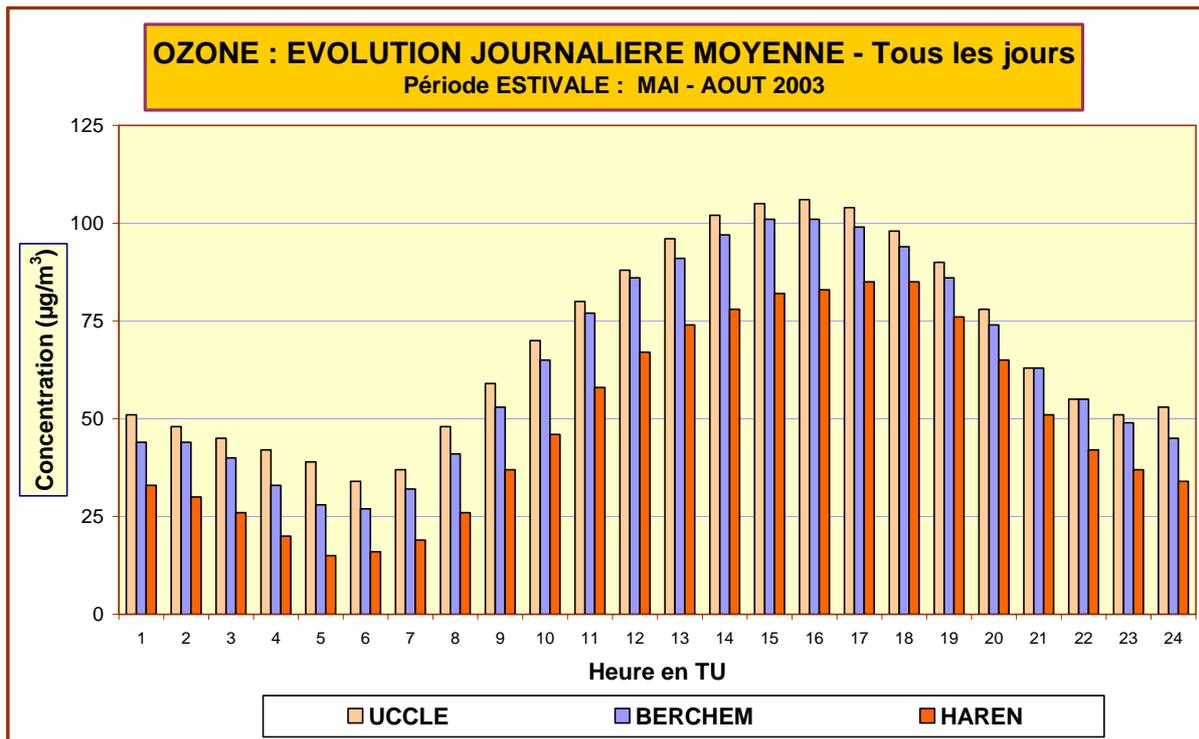


Fig. 4.31 : Ozone – Évolution journalière moyenne – Comparaison entre 3 postes de mesure. Période 'mai – août' 2003 et 2005

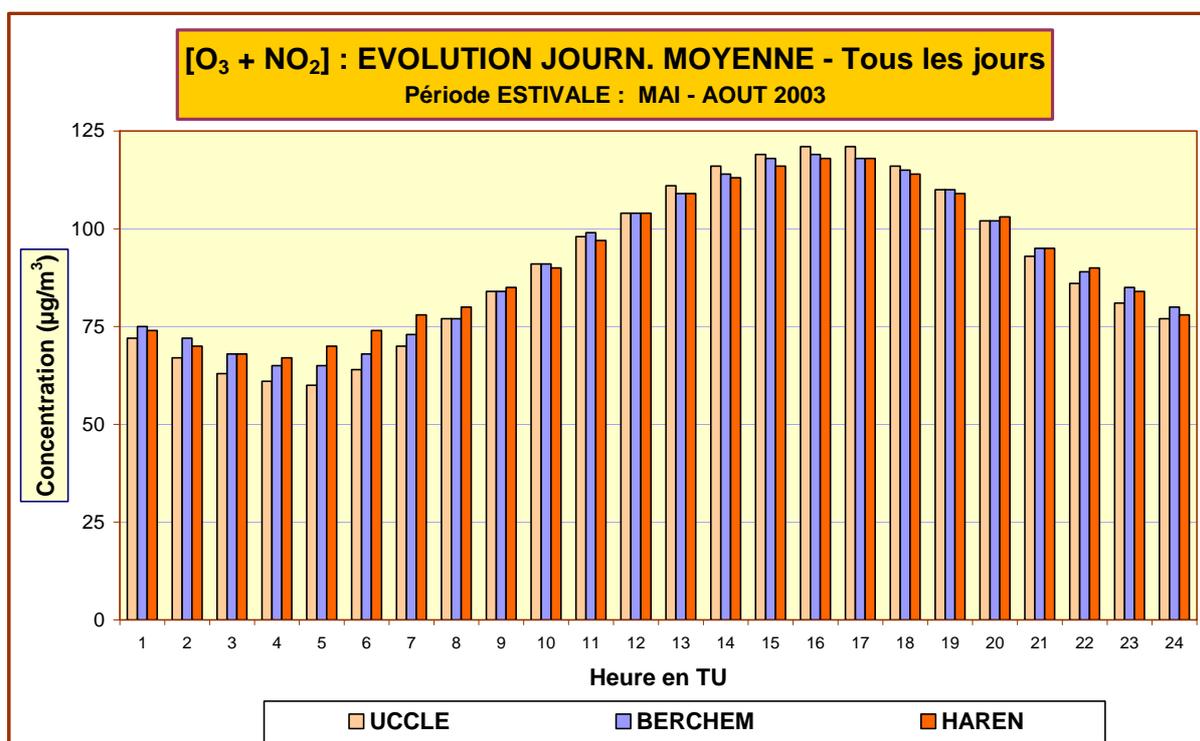
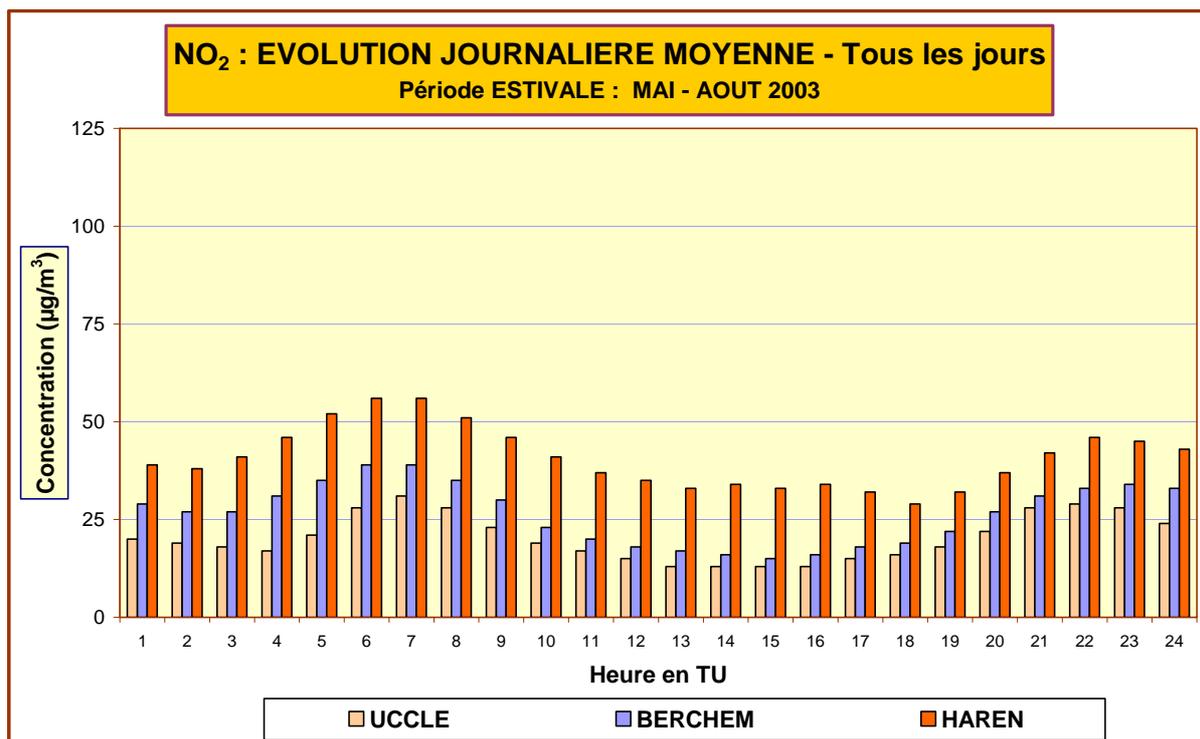
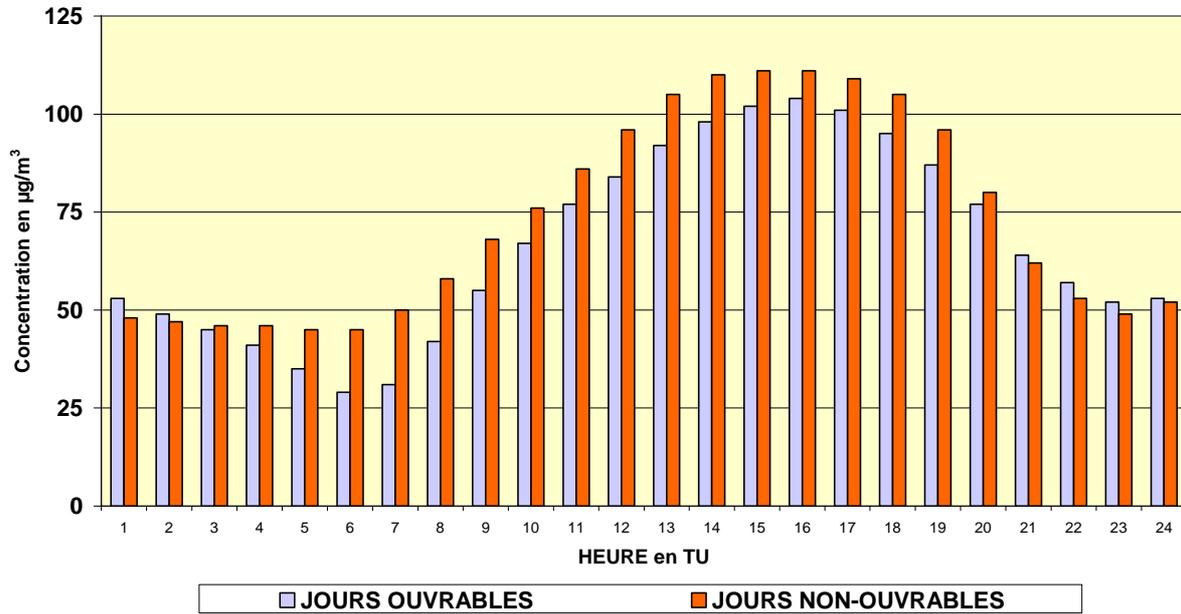


Fig. 4.32 : Évolution journalière moyenne de NO₂ et de la somme [O₃ + NO₂]
Comparaison entre 3 postes de mesure – Période 'mai – août 2003'

OZONE - UCCLE - EVOLUTION JOURNALIERE MOYENNE
JOURS OUVRABLES ET NON-OUVRABLES
 PERIODE ESTIVALE : MAI - AOÛT 2003



OZONE - HAREN - EVOLUTION JOURNALIERE MOYENNE
JOURS OUVRABLES ET NON-OUVRABLES
 PERIODE ESTIVALE : MAI - AOÛT 2003

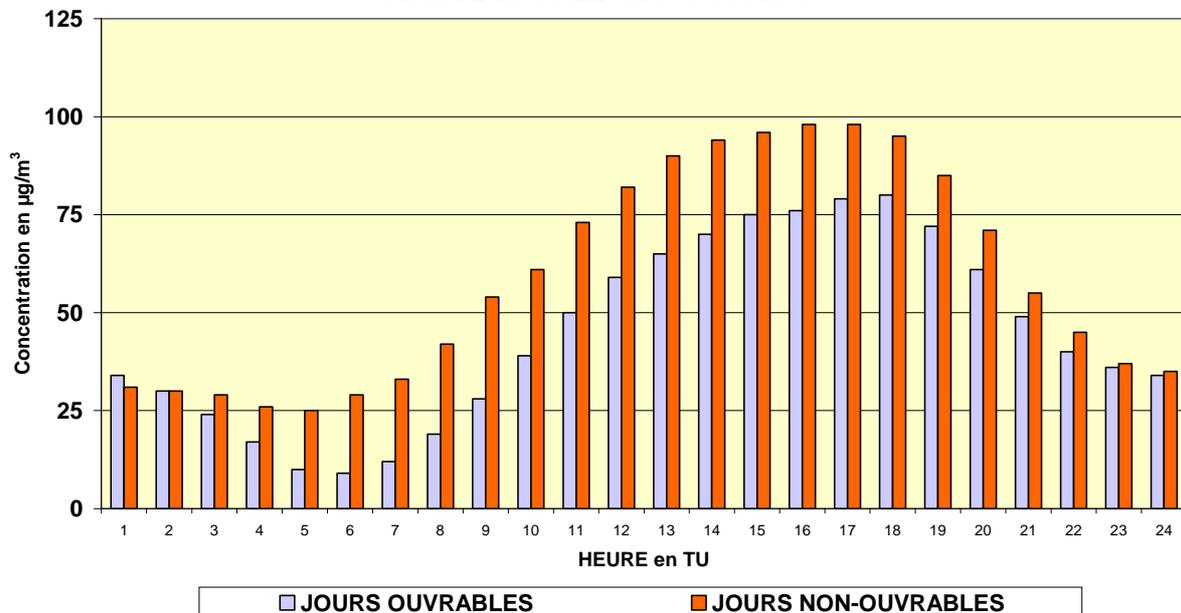
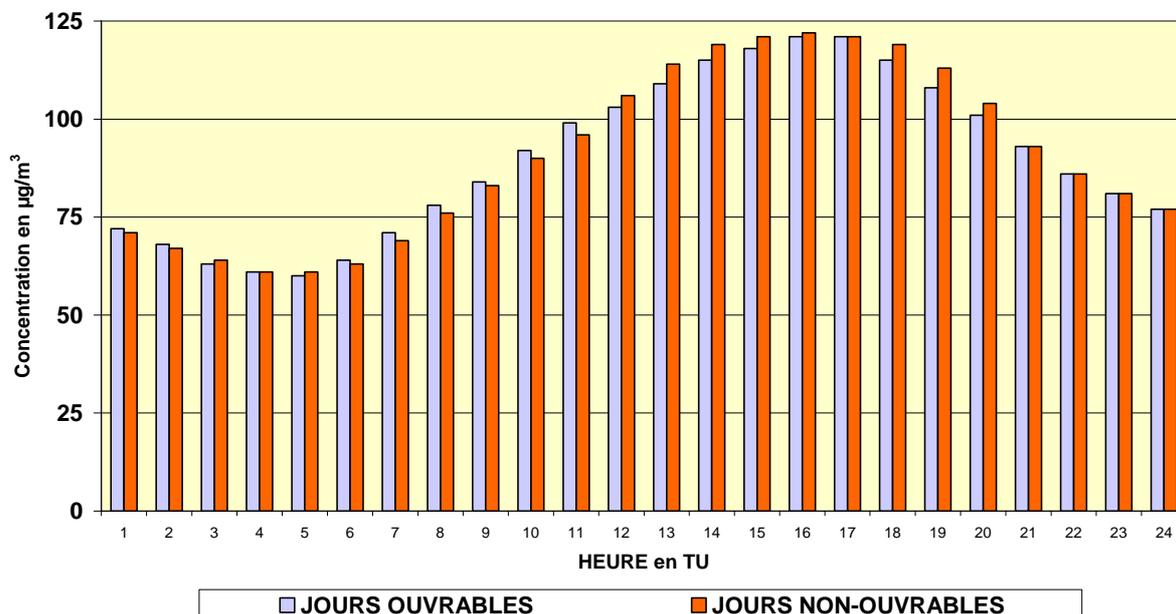


Fig. 4.33 : Ozone – Évolution journalière moyenne les *jours ouvrables* et les *jours non ouvrables*
 Postes de mesure d'Uccle et Haren (trafic) – Période 'mai – août 2003'

[O₃ + NO₂] - UCCLE - EVOLUTION JOURNALIERE MOYENNE
JOURS OUVRABLES ET NON-OUVRABLES
 PERIODE ESTIVALE : MAI - AOÛT 2003



OZONE - HAREN - EVOLUTION JOURNALIERE MOYENNE
JOURS OUVRABLES ET NON-OUVRABLES
 PERIODE ESTIVALE : MAI - AOÛT 2003

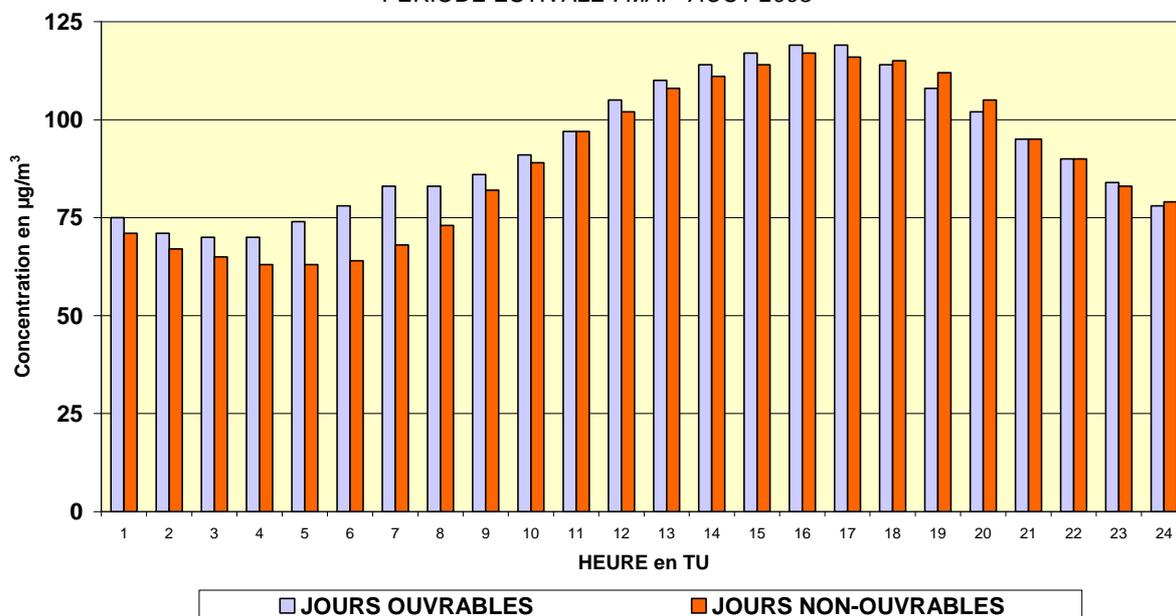


Fig. 4.34 : [O₃ + NO₂] – Évolution journalière moyenne – Jours ouvrables et non ouvrables
 Postes de mesure d'Uccle et Haren – Période 'mai – août 2003'

4.2.6 Rendement et précision des mesures d'ozone

Le tableau IV.19 ci-après donne un aperçu des rendements (saisie en %) des données de mesure pour l'O₃. La précision des résultats pour l'O₃ est déterminée lors des tests de contrôle semestriels par rapport au standard primaire du banc d'étalonnage. Il en ressort qu'une précision absolue d'environ 4% peut être atteinte.

Tableau IV.19 : **VALEURS HORAIRES en O₃ : Rendement**
Saisie des données (en %) = nombre de valeurs horaires / nombre total de périodes horaires

Période : 1 JANVIER – 31 DECEMBRE

	R001	B004	B006	B011	R012	N043	WOL1
1986					60.9		
1987					61.4		
1988					78.1		
1989					83.9		
1990					59.4		
1991					75.1		
1992					85.3		
1993				89.9	88.6		
1994				83.9	83.9		(51.4)
1995				84.3	80.4		55.8
1996				82.3	84.5		85.0
1997	(23.3)			80.9	84.0		87.6
1998	89.8			89.5	92.0	44.6	90.0
1999	91.5			89.5	93.8	94.6	87.4
2000	92.7	(5.8)		89.6	92.6	88.5	91.8
2001	93.9	94.7	(28.2)	92.5	90.7	95.4	(24.6)
2002	95.5	93.8	94.6	94.8	94.6	95.8	89.7
2003	93.5	96.7	96.1	96.6	94.1	91.6	91.8
2004	95.6	97.3	96.6	96.3	96.2	94.5	93.0
2005	95.8	96.6	96.9	96.8	95.9	87.9	93.3

(): série incomplète de données – début des mesures