

Mesures de la Qualité de l'Air dans le Tunnel Léopold II

Suite à l'arrêté du gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 22 décembre 1994 concernant la qualité de l'air dans les tunnels routiers, complété par la circulaire du 9 janvier 1997 concernant l'application de cet arrêté, deux nouveaux postes de mesure permanents ont été installés dans le tunnel Léopold II, un dans chaque sens.

La promulgation de l'arrêté sur la qualité de l'air dans les tunnels routiers a pour but de suivre de façon plus systématique (en continu) la qualité de l'air dans les tunnels et de faire respecter le mieux possible les valeurs limites fixées. Cet arrêté est une conséquence lointaine des résultats de quelques campagnes de mesure de courte durée (environ une semaine) dans divers tunnels, effectuées à l'époque par les services du Ministère de la Santé Publique (1989 – 1992), plus précisément par la section "Air" de l'Institut d'Hygiène et d'Épidémiologie (1, 2, 3 et 4).

Les nouveaux postes de mesure ont été créés par l'Administration de l'Équipement et des Déplacements (AED) sur base d'un cahier spécial de charges qui a été rédigé de commun accord entre la "Direction des Techniques Spéciales" de l'AED et le Laboratoire de Recherche en Environnement (LRE) de l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE).

Les deux postes de mesure sont opérationnels depuis décembre 2002 et sont équipés d'appareils d'analyse en continu permettant la mesure du monoxyde d'azote (NO), du dioxyde d'azote (NO₂) et du monoxyde de carbone (CO). Le LRE est en charge du suivi quotidien des résultats ainsi que du contrôle régulier et de l'étalonnage des appareils.

Les systèmes d'acquisition des données des deux postes de mesure sont reliés au système central de gestion du Réseau Télémétrique de contrôle de la Qualité de l'Air (ambient) en Région de Bruxelles-Capitale. Ce réseau est géré par le LRE. Les résultats d'une première période de mesures ont été rapportés en 2004 (5).

1. *Pollution de l'air dans les tunnels bruxellois situés sur les axes de pénétration vers le centre de la ville (IHE - mai 1999).*
2. *La pollution de l'air dans les tunnels routiers. Evaluation des émissions du trafic au moyen du bilan en carbone (IHE - juillet 1990).*
3. *Studie van de Luchtkwaliteit in twee autowegtunnels die aansluiten op de Antwerpse Ring (IHE - oktober 1991).*
4. *Studie van de Luchtkwaliteit in enkele verkeerstunnels te Brussel (IHE - maart 1992).*
5. *Mesures de la Qualité de l'air dans le tunnel Léopold II. Période : décembre 2002 – mars 2004 (IBGE-LRE : avril 2004)*

1. Postes de mesure

Un des postes de mesure, nom de code 41LEC1, se trouve dans le tronçon de tunnel en direction du centre. La tête d'aspiration de l'air se trouve à quelques centaines de mètres de la fin du tunnel, à hauteur du poste de secours 111. A cet endroit il y a des risques de formation de files à l'heure de pointe du matin.

Les appareils se trouvent dans une armoire fermée, équipée d'une régulation de température, située dans un local technique adjacent. Ce type d'installation a pour but d'éviter autant que possible l'encrassement des appareils, surtout des parties optiques et des composants électroniques, par les particules de suie en suspension et de limiter les risques de pannes (courts-circuits).

Les appareils de l'autre poste de mesure, nom de code 41LEB2, se trouvent dans un local technique du complexe Simonis. La tête d'aspiration se trouve dans le tronçon de tunnel en direction de la basilique de Koekelberg. Ce point de mesure se trouve à plusieurs centaines de mètres de la fin du tunnel. Vu la présence de feux tricolores à la fin du tunnel, l'influence de la formation de files peut se faire sentir à cet endroit, par exemple lors de l'heure de pointe du soir.

Dans les deux postes de mesure, l'air du tunnel est aspiré à travers un tube de téflon d'environ 1 pouce de diamètre. Dans l'armoire se trouve un distributeur (manifold) sur lequel plusieurs appareils peuvent être raccordés. Sur les départs du distributeur sont montés des portes-filtres en téflon munis de membranes filtrantes en téflon également. L'air aspiré est acheminé vers l'entrée des appareils de mesure via des lignes souples en téflon (1/4 pouce ou 6 mm). Ce système permet de limiter au minimum l'encrassement des lignes d'aspiration et du système d'échantillonnage des appareils (vannes, chambres de réaction, conduites, ...). Les membranes filtrantes doivent être remplacées régulièrement en fonction de la charge du filtre.

2. Programme de mesure

Les postes de mesure sont équipés d'appareils de mesure en continu pour la détection des oxydes d'azote (NO et NO₂) et du monoxyde de carbone (CO). Les types d'appareils et les principes de mesure utilisés sont les suivants:

NO _x	NO _x -API 200	chimiluminescence
CO	CO-API 300	absorption IR - corrélation par filtre gazeux (GFC-IR)

Les appareils ont d'abord été testés pendant quelques mois (juin – septembre 2002) au laboratoire du LAR qui abrite le banc d'étalonnage commun des trois régions. Ces tests ont surtout porté sur la linéarité, la stabilité, la reproductibilité et la précision des appareils de mesure. Une attention particulière a été portée à la précision de la détection d'une concentration de quelques centaines de µg/m³ de NO₂ en présence de quelques milliers de µg/m³ de NO.

On a également recherché un réglage technique idéal des appareils afin de trouver, en fonction des spécifications établies, un compromis optimal entre, d'une part, une précision suffisamment élevée et, d'autre part, un temps de réponse suffisamment rapide du signal de détection.

Après la période de test au labo, les appareils ont été installés dans les nouveaux postes de mesure, ainsi que les équipements de test associés et le système d'acquisition des données. Les deux postes de mesure sont entièrement opérationnels depuis décembre 2002. Les équipements de test permettent d'effectuer des contrôles réguliers sur base de concentrations ZERO et SPAN (tests de contrôle interne).

Les systèmes d'acquisition de données des deux postes de mesure sont reliés au système central de gestion du réseau téléométrique de contrôle de la qualité de l'air (Région de Bruxelles-Capitale). Les postes de mesure sont suivis de la même façon que les postes qui se trouvent en surface et qui assurent le contrôle de la qualité de l'air ambiant: rapatriement des données toutes les heures, exécution régulière des tests ZERO et SPAN (tests internes tous les deux ou trois jours), importation des valeurs semi-horaires dans la base de données immissions de la Région de Bruxelles-Capitale, etc... . Durant la première période annuelle les analyseurs étaient testés tous les trois mois à l'aide des étalons externes. Depuis la deuxième année de mesure, ces tests ont lieu tous les six mois.

De plus, en vue du contrôle du respect des valeurs limites établies, les postes de mesure des tunnels calculent des moyennes minutes et des moyennes glissantes sur 20 minutes. Ces données sont également transférées au système central de gestion. La moyenne glissante sur 20 minutes est la moyenne des 20 dernières minutes. Cette moyenne est recalculée toutes les minutes.

Sur base annuelle, une grande quantité de données de mesure est à conserver pour ces deux postes de mesure. Dans chaque poste de mesure se trouvent un appareil CO et un appareil NO_x. Des résultats sont mesurés pour 4 paramètres: CO, NO, NO₂ et NO_x. Pour les deux postes, cela signifie 8 paramètres pour lesquels sont conservées chaque année (365 jours) 140.160 valeurs semi-horaires.

Pour chacun des paramètres sont également conservées deux séries de valeurs minutes: les moyennes minutes et les moyennes glissantes sur 20 minutes. Pour une année (365 jours) complète, cela représente 8.409.600 valeurs minutes à conserver.

Tableau I: nombre de PARAMETRES de POLLUTION, nombre de VALEURS SEMI-HORAIRES et de VALEURS MINUTES dans le tunnel

Année	Paramètres Valeurs semi-horaires	Nombre de Valeurs semi-horaires	Paramètres Valeurs Minutes	Nombre de Valeurs Minutes
2003	8	140.160	8 * 2	8.409.600
2004	8	140.544	8 * 2	8.432.640

3. Réglementation

L'arrêté du gouvernement de Bruxelles-Capitale sur la qualité de l'air dans les tunnels routiers du 22 décembre 1994 fixe des valeurs limites pour le CO et le NO₂ qui ne peuvent pas être dépassées:

- *Pour le monoxyde de carbone (CO) :*
 - o 100 ppm en moyenne sur l'ensemble des capteurs-analyseurs internes au tunnel considéré, pour une durée d'exposition maximale d'une demi-heure

- *Pour le dioxyde d'azote (NO₂) :*
 - o 1.000 µg/m³ (microgrammes par mètre cube) pour une durée d'exposition maximale de 20 minutes

 - o 400 µg/m³ (microgrammes par mètre cube) pour une durée d'exposition d'une heure

 - o variation linéaire entre les deux valeurs précitées pour une durée d'exposition de 20 minutes à 1 heure

Bien que basées sur les valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé, ces spécifications diffèrent, dans la formulation, des objectifs pour la qualité de l'air ambiant.

Les valeurs limites pour l'air ambiant fixent un niveau de concentration, associé à un temps d'intégration, qui ne peut être dépassé qu'un certain nombre de fois par an; p.ex. une valeur horaire de NO₂ de 200 µg/m³ à l'air ambiant ne peut pas être dépassée plus de 18 fois par an.

Les valeurs limites dans les tunnels lient de façon explicite la durée d'exposition et la concentration qui lui est associée. Cela signifie que la concentration horaire de NO₂ ne peut pas être supérieure à 400 µg/m³ quand le temps d'exposition effectif est d'une heure.

Par expérience on peut constater qu'il y a peu de chances que des automobilistes soient bloqués pendant une heure dans le tunnel Léopold II. Par contre il arrive fréquemment que des automobilistes séjournent pendant 20 minutes, ou plus, dans ce tunnel, notamment lors des heures de pointe du matin ou du soir. Au ralenti ou dans les files, les émissions de NO₂ et de CO augmentent. Les automobilistes restent donc plus longtemps aux endroits où les concentrations de ces polluants sont les plus élevées.

En ce qui concerne la variation linéaire entre 20 minutes et une heure, on n'a retenu dans ce rapport, pour des raisons pratiques, que les expositions pour une durée d'une demi-heure. L'interpolation linéaire entre 1.000 µg/m³ pendant 20 minutes et 400 µg/m³ pendant une heure (60 minutes) donne une valeur limite de 850 µg/m³ de NO₂ pendant 30 minutes. Les périodes intermédiaires de 59 min., 58 min., ..., 22 et 21 minutes n'ont pas été prises en compte.

4. Résultats

4.1 Évolution graphique des données de mesure

A titre d'exemple, les résultats des deux postes de mesure, obtenus durant une période d'un mois, sont représentés graphiquement dans les figures 1 à 4. L'évolution graphique des *valeurs semi-horaires* et des *valeurs horaires* du poste de mesure 41LEC1 (direction centre) pour le mois d'octobre 2004 est donnée dans les figures 1 et 2. De façon analogue, les valeurs semi-horaires et horaires du poste de mesure 41LEB2 (direction Basilique) pour le mois septembre 2004 sont représentées dans les figures 3 et 4.

Chacune des figures 1 à 4 contient quatre graphiques. Le graphique du dessus donne l'évolution des concentrations (valeurs semi-horaires ou horaires) du monoxyde d'azote (NO). Le second graphique donne l'évolution des concentration de dioxyde d'azote (NO₂). Une ligne horizontale sur toute la largeur du graphique indique la valeur limite pour le NO₂:

850 µg/m³ pour une exposition d'une demi-heure
400 µg/m³ pour une exposition d'une heure

Le troisième graphique donne les résultats pour le NO_x, c'est à dire la somme de NO et NO₂ exprimée en équivalent masse de NO₂. $[NO_x] = 1,53 * [NO] + [NO_2]$, où les concentrations massiques [NO_x], [NO] et [NO₂] sont exprimées en µg/m³.

Le quatrième graphique donne l'évolution des concentrations de CO exprimées en mg/m³ (milligrammes par mètre cube). A 20° C et 1013 hPa : 1 ppm CO = 1,165 mg/m³ CO.

Les résultats de la moyenne glissante sur 20 minutes pour le NO₂, calculés pour la journée du mardi 5 octobre 2004, sont représentés graphiquement dans la figure 5. Le graphique du dessus donne les résultats pour le poste de mesure 41LEC1 (direction centre) et le graphique du dessous les résultats du poste de mesure 41LEB2 (direction basilique).

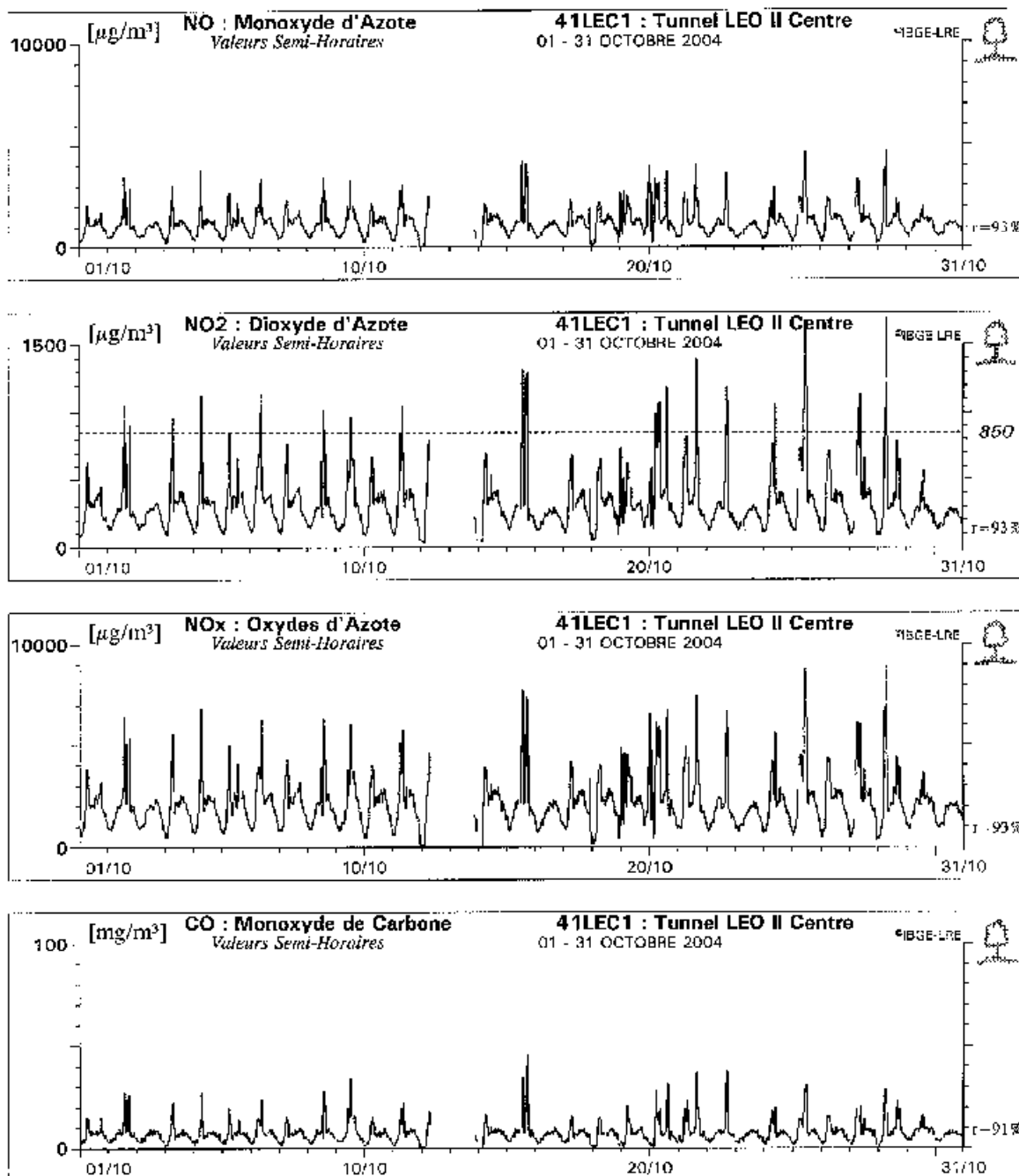


Fig. 1: Évolution des valeurs semi-horaires en octobre 2004
 Poste de mesure 41LEC1, direction Centre

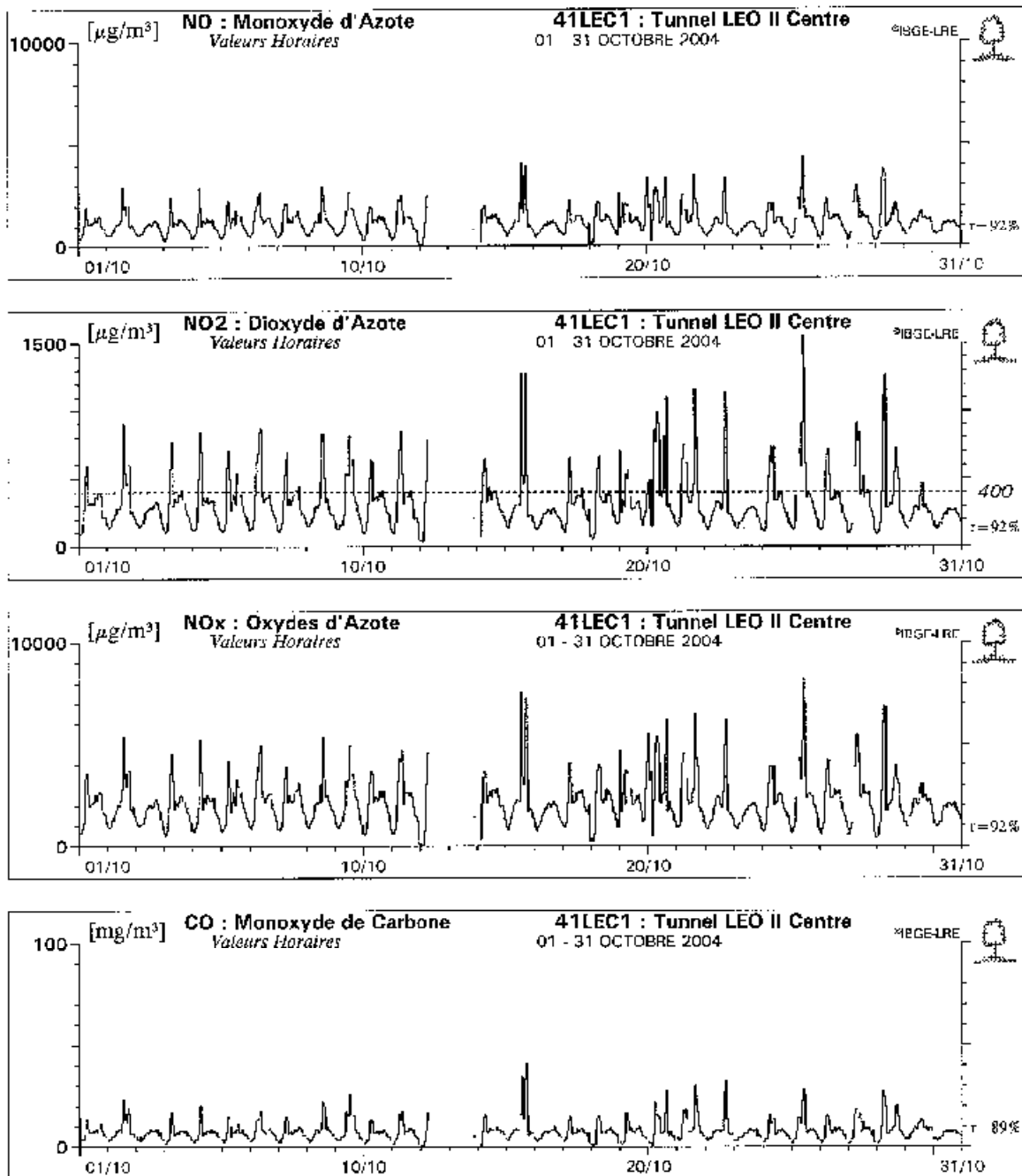


Fig. 2: Évolution des valeurs horaires en octobre 2004
 Poste de mesure 41LEC1, direction Centre

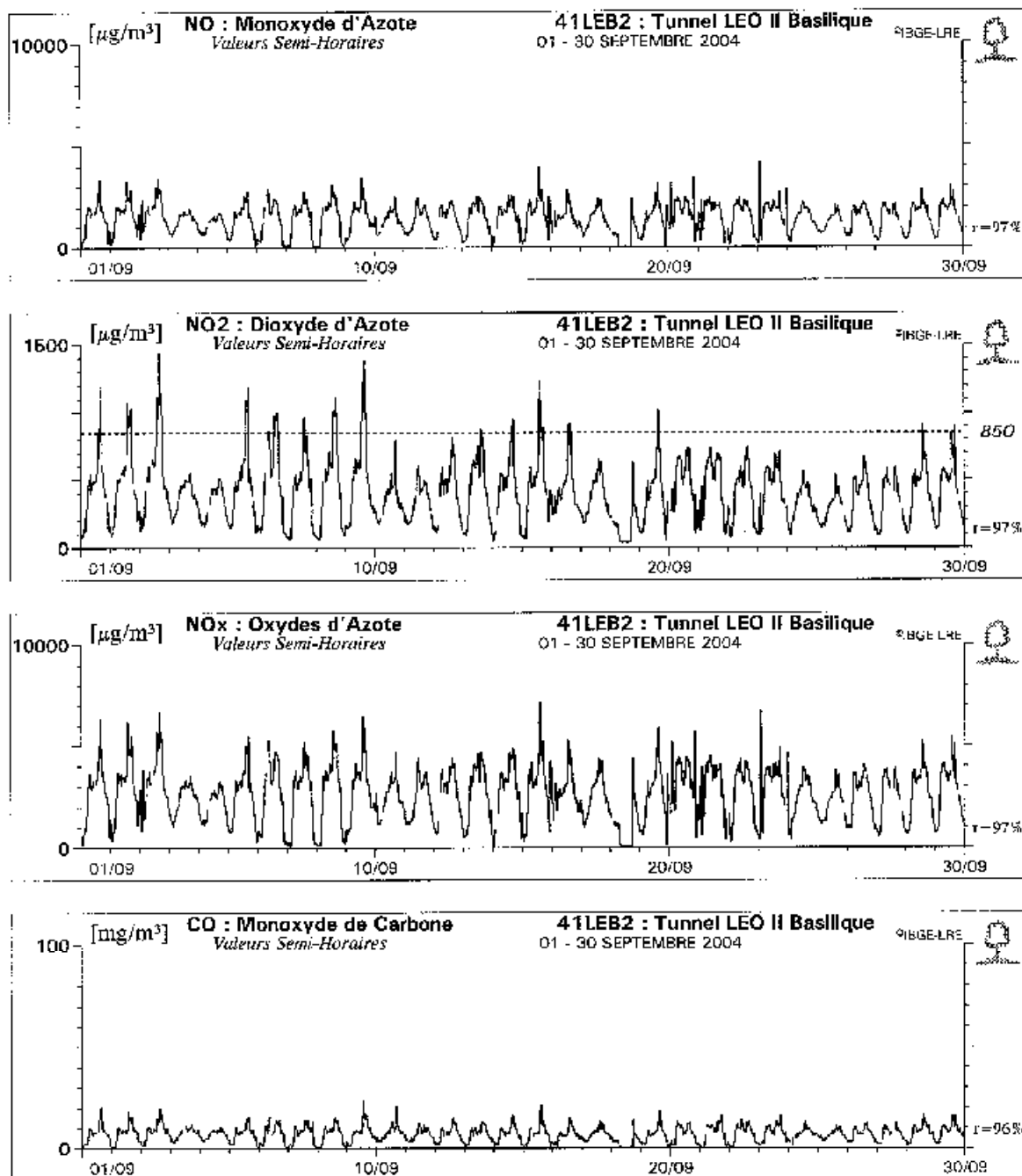


Fig. 3: Évolution des valeurs semi-horaires en septembre 2004
 Poste de mesure 41LEB2, direction Basilique

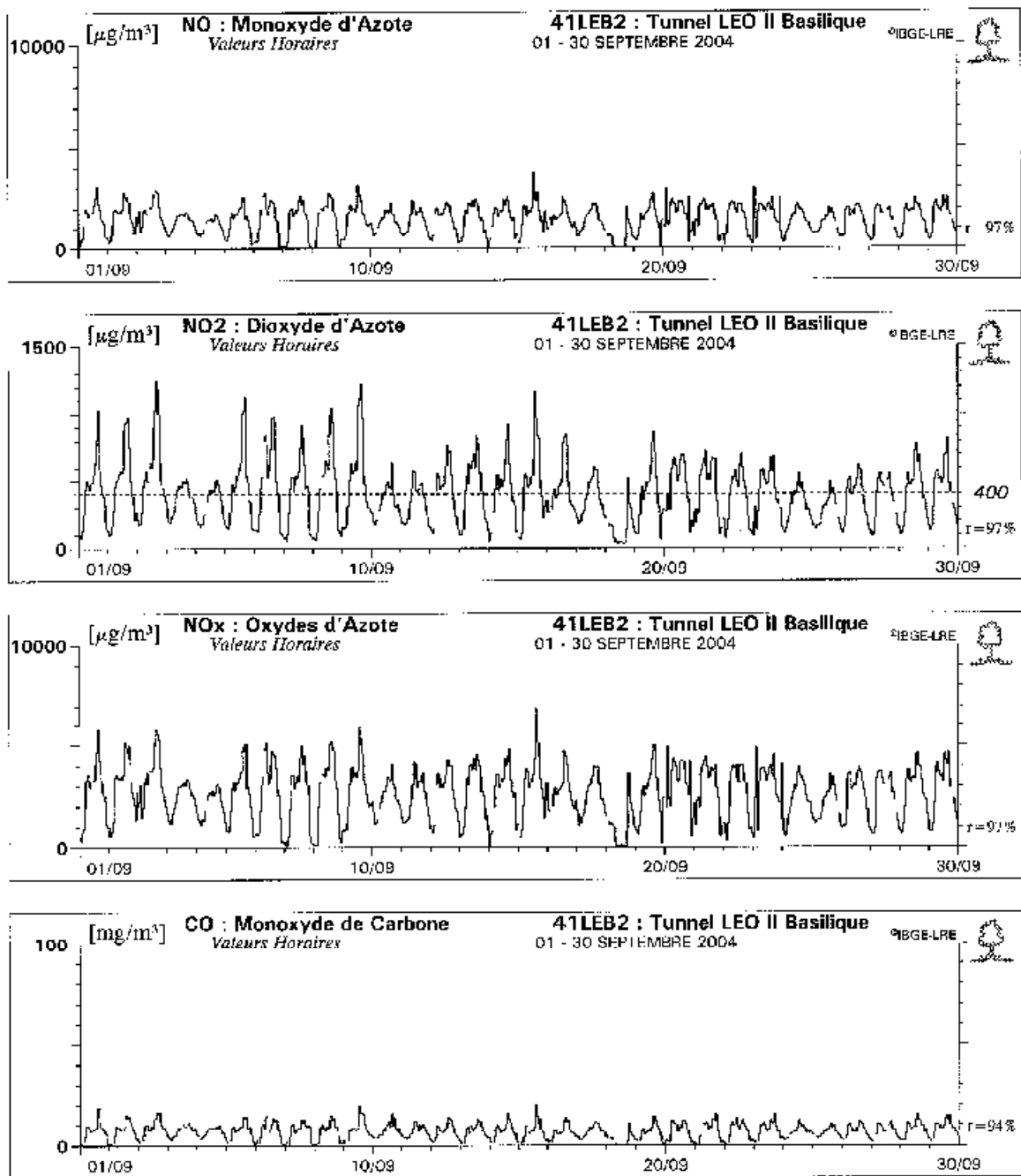


Fig. 4: Évolution des valeurs horaires en septembre 2004
Poste de mesure 41LEB2, direction Basilique

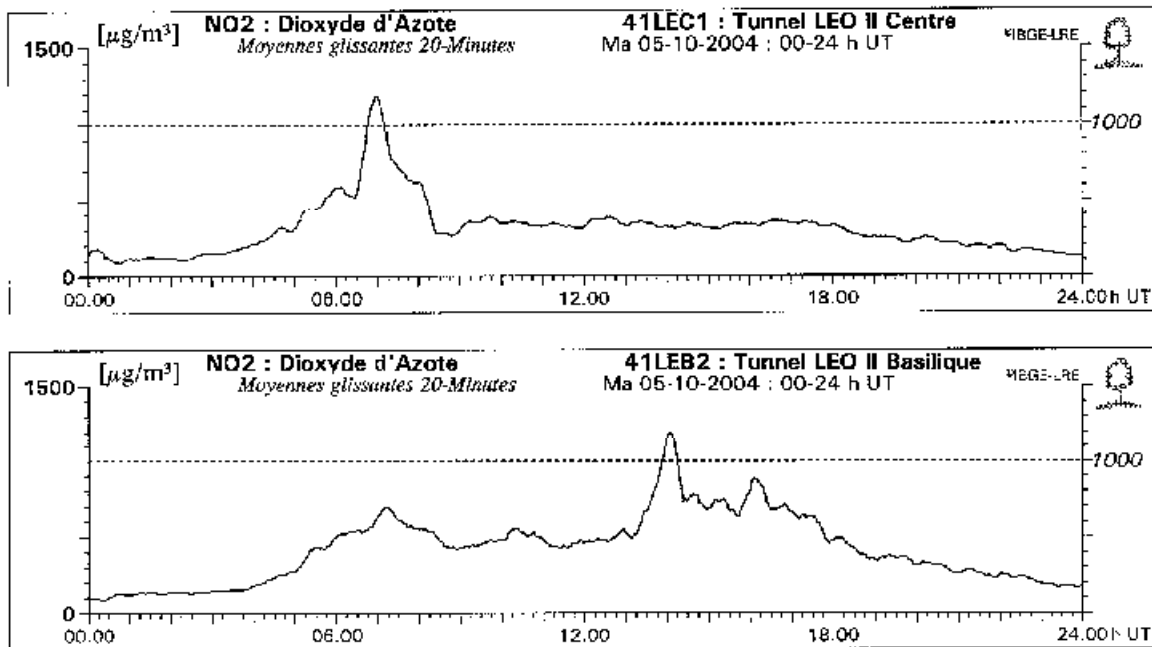


Fig. 5: NO₂ – évolution de la moyenne glissante sur 20 minutes dans les deux postes de mesure du tunnel Léopold II
Mardi 5 octobre 2004

4.2 Distribution des fréquences cumulées

Pour l'année calendrier 2004, les résultats de la distribution des fréquences cumulées, calculées à partir de toutes les données disponibles (*sélection de tous les jours – toutes les valeurs du jour*), sont donnés dans les tableaux II et III. Les résultats y sont comparés à ceux de l'année 2003. Le tableau II contient les résultats des valeurs semi-horaires, les résultats des valeurs horaires se trouvent dans le tableau III.

A gauche de chaque ligne de résultats se trouvent les indications du poste de mesure (41LEC1 ou 41LEB2), de l'année et du polluant concerné (NO, NO₂, NO_x et CO). Ces indications sont suivies par les résultats des centiles successifs P30, P50, P70, P80, P90, P95, P98 et P99.9, la moyenne arithmétique (MA), la moyenne géométrique (MG) et le pourcentage de données disponibles (Np%).

Pour le CO la valeur limite est de 100 ppm (= 116,5 mg/m³) pour une exposition de 30 minutes. Au cours de l'année 2004 la valeur maximale de CO est de 135,69 mg/m³ dans le poste de mesure 41LEC1 (centre) et de 29,31 mg/m³ dans le poste de mesure 41LEB2 (basilique). Au cours de l'année 2004, la valeur limite pour le CO a été dépassée une fois. Au cours de l'année 2003 la concentration maximale s'élevait respectivement à 62,34 mg/m³ (LEC1) et 32,58 mg/m³ (LEB2)

Pour le NO₂ il y a une valeur limite de 400 µg/m³ pour une exposition d'une heure et une valeur limite de 850 µg/m³ pour une exposition de 30 minutes. Pour les deux postes de mesure et les deux années, le niveau de 850 µg/m³ se situe entre les centiles P99 et P99.5 des valeurs semi-horaires. Cela signifie que les dépassements de ce niveau représentent moins de 1 % de toutes les valeurs semi-horaires.

Le niveau de 400 µg/m³ se situe entre le P80 et P90 des valeurs horaires pour le poste de mesure 41LEC1 et entre le P50 et P60 pour le poste de mesure 41LEB2. Cela signifie que le nombre de valeurs horaires supérieures à 400 µg/m³ représente plus de 10% du total des valeurs horaires pour le poste de mesure en direction du centre (41LEC1) et plus de 40% du total des valeurs horaires pour le poste de mesure en direction de la basilique (41LEB2). Pour l'année 2004, la moyenne des valeurs horaires de NO₂ atteint 279 µg/m³ dans le poste de mesure 41LEC1 et 375 µg/m³ dans le poste 41LEB2, à comparer respectivement avec 278 µg/m³ et 363 µg/m³ en 2003.

Les tableaux IV (valeurs semi-horaires) et V (valeurs horaires) donnent les résultats des distributions de fréquences cumulées pour les jours ouvrables (*sélection de tous les jours ouvrables – toutes les valeurs du jour*). Les tableaux VI et VII donnent les résultats analogues pour les jours non ouvrables (*sélection de tous les jours non ouvrables – toutes les valeurs du jour*).

Pour les valeurs semi-horaires (tableaux IV et VI), il apparaît que les concentrations de NO₂ supérieures à 850 µg/m³ se produisent presque exclusivement les *jours ouvrables*. Pour les *jours non ouvrables*, on note 24 dépassements en 2004 (cinq en 2003) pour le poste de mesure en direction du centre (41LEC1) et, de même qu'en 2003, aucun pour le poste de mesure en direction de la basilique (41LEB2). Les 24 dépassement de *jours non ouvrables* se partagent entre 6 samedis et 3 dimanches

Pour tous les polluants, les concentrations mesurées sont *en moyenne plus élevées* les *jours ouvrables* que les jours non ouvrables. Les moyennes horaires du NO₂ atteignent 298 µg/m³ (41LEC1) et 404 µg/m³ (41LEB2) les jours ouvrables contre respectivement 235 µg/m³ et 309 µg/m³ les jours non ouvrables.

Il est à remarquer que la valeur moyenne en NO₂ du poste 41LEC1 est quasi identique en 2004 et 2003. Le niveau des centiles plus élevés (p.ex. P98) est légèrement supérieure en 2004. Ce constat peut être observé pour les trois types de sélection : *tous les jours*, *tous les jours ouvrables* et *tous les jours non ouvrables*.

Pour le poste de mesure en direction de la basilique (41LEB2), le nombre de valeurs horaires supérieures à 400 µg/m³ atteint plus de 50% du nombre de valeurs horaires les *jours ouvrables* et environ 20 % du nombre de valeurs horaires les *jours non ouvrables*. Pour le poste de mesure en direction du centre (41LEC1), cela devient plus de 10% du nombre des valeurs horaires les *jours ouvrables* et presque 2% du nombre de valeurs horaires les *jours non ouvrables*.

Les résultats de la distribution des fréquences cumulées des valeurs horaires pour le NO₂, le CO et le NO, calculés pour les années 2003 et 2004, sont représentés graphiquement dans les figures 6, 7 et 8. Le graphique du dessus représente les résultats pour le poste en direction du centre (41LEC1) et le graphique du dessous ceux du poste en direction de la basilique (41LEB2). Dans chacun de ces graphiques, les résultats sont représentés pour trois différentes sélections de jours : la sélection de *tous les jours* se trouve à gauche, la sélection de *tous les jours ouvrables* au milieu et la sélection des *jours non ouvrables* à droite du graphique.

En 2004 on constate pour le NO₂ une légère croissance du niveau des centiles les plus élevés (p.ex. P98), tandis que la concentration moyenne est quasi identique à celle de 2003. Par contre pour le NO et le CO, on constate une légère baisse des niveaux moyens ainsi que des niveaux de centiles les plus élevés.

**Tableau II: DISTRIBUTION de FRÉQUENCES CUMULÉES
VALEURS SEMI-HORAIRES**

ANNÉE CALENDRIER
TOUS LES JOURS – TOUTES les VALEURS SEMI-HORAIRES de la journée
Centiles NO, NO₂ en NO_x en µg/m³ – CO en mg/m³

Poste	An	Pol	P ₃₀	P ₅₀	P ₇₀	P ₈₀	P ₉₀	P ₉₅	P ₉₈	P _{99.9}	MA	MG	%Np
41LEC1	2003	NO	840	1111	1325	1441	1624	1828	2431	4395	1092	902	93,6
41LEC1	2004	NO	793	1037	1230	1340	1518	1846	2414	4664	1026	820	93,4
41LEB2	2003	NO	1274	1711	2063	2238	2445	2636	2912	3830	1631	1420	96,6
41LEB2	2004	NO	1126	1520	1835	1991	2195	2367	2617	3680	1447	1220	97,1
41LEC1	2003	NO ₂	204	271	325	355	408	506	673	1316	278	244	93,6
41LEC1	2004	NO ₂	203	268	321	351	415	543	734	1504	279	240	93,4
41LEB2	2003	NO ₂	264	360	449	498	567	634	727	985	363	323	96,6
41LEB2	2004	NO ₂	270	368	458	510	601	682	777	1124	375	330	97,1
41LEC1	2003	NO _x	1497	1975	2351	2555	2866	3279	4389	7940	1946	1643	93,6
41LEC1	2004	NO _x	1425	1863	2200	2389	2699	3344	4410	8560	1846	1518	93,4
41LEB2	2003	NO _x	2214	2985	3609	3912	4284	4612	5105	6695	2856	2505	96,6
41LEB2	2004	NO _x	1996	2698	3270	3556	3935	4271	4727	6598	2586	2215	97,1
41LEC1	2003	CO	6.36	8.11	9.38	10.23	11.67	14.30	20.65	41.14	8.12	6.82	95,2
41LEC1	2004	CO	5.65	7.04	8.18	8.93	10.47	13.49	18.11	40.60	7.15	5.86	94,3
41LEB2	2003	CO	6.60	8.53	10.19	11.34	13.05	14.68	16.99	24.51	8.46	7.39	96,3
41LEB2	2004	CO	5.84	7.46	8.78	9.76	11.51	12.94	14.80	22.09	7.34	6.26	95,2

**Tableau III: DISTRIBUTION de FRÉQUENCES CUMULÉES
VALEURS HORAIRES**

ANNÉE CALENDRIER
TOUS LES JOURS – TOUTES les VALEURS HORAIRES de la journée
Centiles NO, NO₂ en NO_x en µg/m³ – CO en mg/m³

Poste	An	Pol	P ₃₀	P ₅₀	P ₇₀	P ₈₀	P ₉₀	P ₉₅	P ₉₈	P _{99.9}	MA	MG	%Np
41LEC1	2003	NO	840	1116	1330	1441	1620	1826	2405	4081	1092	911	93,4
41LEC1	2004	NO	794	1043	1234	1343	1520	1827	2366	4305	1026	832	93,2
41LEB2	2003	NO	1278	1720	2066	2235	2433	2627	2873	3611	1631	1428	96,4
41LEB2	2004	NO	1130	1523	1839	1989	2196	2362	2575	3362	1447	1230	97,0
41LEC1	2003	NO ₂	204	273	328	356	406	509	653	1230	278	245	93,4
41LEC1	2004	NO ₂	202	270	323	353	417	533	721	1340	279	241	93,2
41LEB2	2003	NO ₂	265	362	449	498	566	631	714	951	363	324	96,4
41LEB2	2004	NO ₂	271	368	458	510	602	680	769	1072	375	331	97,0
41LEC1	2003	NO _x	1498	1984	2360	2553	2858	3274	4317	7447	1946	1656	93,4
41LEC1	2004	NO _x	1422	1872	2211	2393	2701	3325	4338	8053	1846	1535	93,2
41LEB2	2003	NO _x	2221	3000	3611	3906	4271	4609	5040	6395	2855	2516	96,4
41LEB2	2004	NO _x	2003	2706	3268	3552	3932	4253	4686	6086	2586	2229	97,0
41LEC1	2003	CO	6,50	8,19	9,41	10,21	11,61	14,50	20,39	37,16	8,18	6,96	93,8
41LEC1	2004	CO	5,91	7,14	8,21	8,93	10,46	13,64	17,91	37,17	7,21	6,02	92,4
41LEB2	2003	CO	6,76	8,67	10,28	11,34	13,00	14,51	16,57	23,08	8,53	7,54	94,8
41LEB2	2004	CO	5,99	7,55	8,85	9,81	11,52	12,82	14,43	20,99	7,42	6,43	93,4

**Tableau IV: DISTRIBUTION de FRÉQUENCES CUMULÉES
VALEURS SEMI-HORAIRES**

ANNÉE CALENDRIER
TOUS LES JOURS OUVRABLES – TOUTES les VALEURS SEMI-HORAIRES
Centiles NO, NO₂ en NO_x en µg/m³ – CO en mg/m³

Poste	An	Pol	P ₃₀	P ₅₀	P ₇₀	P ₈₀	P ₉₀	P ₉₅	P ₉₈	P _{99.9}	MA	MG	%Np
41LEC1	2003	NO	901	1170	1387	1500	1690	1974	2688	4707	1138	899	93,7
41LEC1	2004	NO	845	1096	1295	1412	1616	2057	2590	4794	1072	809	92,9
41LEB2	2003	NO	1398	1827	2166	2318	2524	2732	3033	3926	1698	1443	96,0
41LEB2	2004	NO	1234	1637	1927	2073	2269	2447	2706	3878	1508	1229	96,8
41LEC1	2003	NO ₂	223	297	346	376	446	560	749	1359	297	255	93,7
41LEC1	2004	NO ₂	218	295	343	377	462	606	788	1580	298	250	92,9
41LEB2	2003	NO ₂	297	402	489	536	603	670	762	1034	391	343	96,0
41LEB2	2004	NO ₂	302	414	500	554	643	722	825	1155	404	349	96,8
41LEC1	2003	NO _x	1612	2096	2463	2658	3007	3579	4845	8538	2036	1656	93,7
41LEC1	2004	NO _x	1525	1982	2323	2519	2880	3749	4749	8765	1936	1519	92,9
41LEB2	2003	NO _x	2441	3213	3804	4074	4432	4811	5362	6901	2986	2562	96,0
41LEB2	2004	NO _x	2194	2925	3453	3722	4088	4424	4908	6678	2708	2252	96,8
41LEC1	2003	CO	6.54	8.18	9.42	10.33	12.38	15.95	22.83	43.16	8.28	6.69	95,2
41LEC1	2004	CO	5.82	7.16	8.37	9.23	11.37	14.86	19.21	42.83	7.32	5.73	93,8
41LEB2	2003	CO	6.85	8.72	10.49	11.73	13.61	15.33	17.82	25.14	8.62	7.34	96,0
41LEB2	2004	CO	6.13	7.64	9.12	10.38	12.07	13.43	15.49	22.25	7.50	6.17	94,7

**Tableau V: DISTRIBUTION de FRÉQUENCES CUMULÉES
VALEURS HORAIRES**

ANNÉE CALENDRIER
TOUS LES JOURS OUVRABLES – TOUTES les VALEURS HORAIRES
Centiles NO, NO₂ en NO_x en µg/m³ – CO en mg/m³

Poste	An	Pol	P ₃₀	P ₅₀	P ₇₀	P ₈₀	P ₉₀	P ₉₅	P ₉₈	P _{99.9}	MA	MG	%Np
41LEC1	2003	NO	903	1181	1392	1496	1685	1962	2621	4118	1138	912	93,4
41LEC1	2004	NO	851	1110	1298	1414	1617	2031	2496	4364	1071	826	92,7
41LEB2	2003	NO	1391	1840	2167	2314	2518	2695	2962	3659	1697	1453	95,8
41LEB2	2004	NO	1218	1651	1929	2070	2254	2426	2654	3533	1508	1242	96,6
41LEC1	2003	NO ₂	223	299	348	378	444	559	726	1282	297	257	93,4
41LEC1	2004	NO ₂	217	298	345	378	464	588	763	1402	298	252	92,7
41LEB2	2003	NO ₂	297	406	490	535	600	669	748	991	391	344	95,8
41LEB2	2004	NO ₂	299	417	500	554	640	717	803	1127	404	351	96,6
41LEC1	2003	NO _x	1611	2120	2472	2654	2986	3546	4723	7455	2035	1673	93,4
41LEC1	2004	NO _x	1537	2007	2335	2525	2884	3678	4566	8219	1935	1541	92,7
41LEB2	2003	NO _x	2417	3232	3799	4067	4430	4753	5192	6454	2984	2576	95,8
41LEB2	2004	NO _x	2164	2950	3454	3718	4070	4376	4827	6263	2708	2271	96,6
41LEC1	2003	CO	6.74	8.25	9.45	10.34	12.51	16.09	22.79	38.76	8.35	6.86	93,7
41LEC1	2004	CO	6.08	7.26	8.39	9.24	11.48	14.81	18.87	35.93	7.40	5.93	91,9
41LEB2	2003	CO	7.05	8.87	10.51	11.72	13.58	15.21	17.19	23.74	8.71	7.52	94,5
41LEB2	2004	CO	6.25	7.75	9.21	10.39	12.03	13.32	14.85	21.08	7.60	6.37	92,9

**Tableau VI: DISTRIBUTION de FRÉQUENCES CUMULÉES
VALEURS SEMI-HORAIRES**

ANNÉE CALENDRIER
TOUS LES JOURS NON OUVRABLES – TOUTES les VALEURS SEMI-HORAIRES
Centiles NO, NO₂ en NO_x en µg/m³ – CO en mg/m³

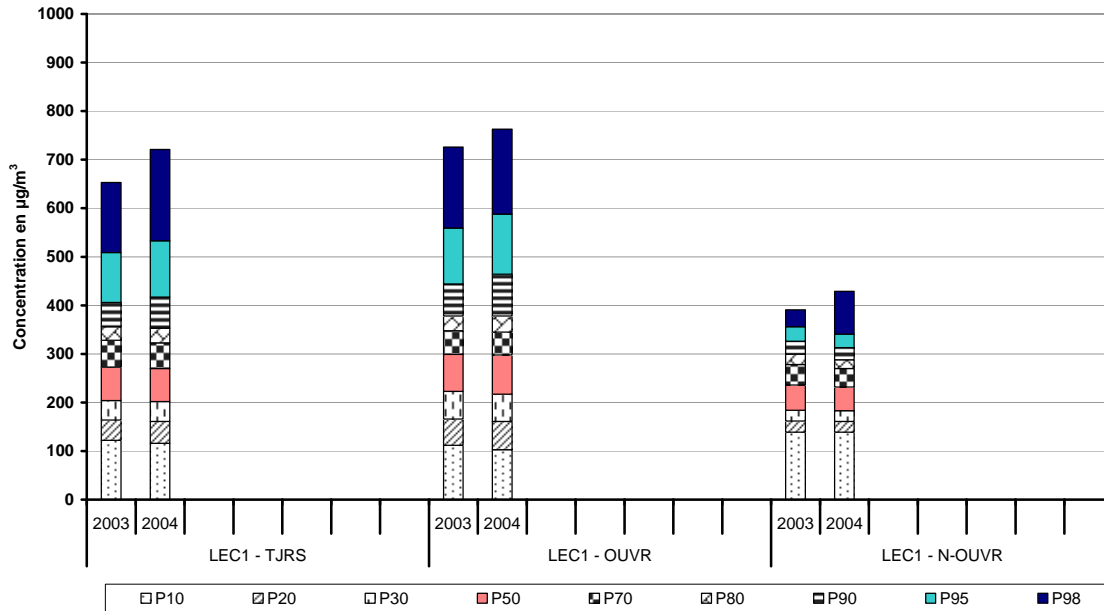
Poste	An	Pol	P ₃₀	P ₅₀	P ₇₀	P ₈₀	P ₉₀	P ₉₅	P ₉₈	P _{99.9}	MA	MG	%Np
41LEC1	2003	NO	754	1000	1185	1283	1423	1574	1752	3057	990	907	93,5
41LEC1	2004	NO	717	932	1085	1172	1292	1391	1566	4023	924	843	94,4
41LEB2	2003	NO	1103	1511	1802	1977	2191	2351	2531	3002	1487	1371	97,8
41LEB2	2004	NO	969	1344	1582	1724	1920	2097	2294	2786	1311	1201	97,8
41LEC1	2003	NO ₂	183	235	278	299	329	353	389	859	235	221	93,5
41LEC1	2004	NO ₂	183	231	270	288	313	337	414	1252	235	219	94,4
41LEB2	2003	NO ₂	227	304	365	398	439	473	509	636	302	283	97,8
41LEB2	2004	NO ₂	234	310	370	401	441	473	528	726	309	290	97,8
41LEC1	2003	NO _x	1338	1773	2088	2256	2485	2732	3018	5527	1748	1616	93,5
41LEC1	2004	NO _x	1281	1666	1929	2073	2270	2430	2757	7385	1646	1516	94,4
41LEB2	2003	NO _x	1911	2629	3132	3415	3772	4037	4329	5168	2574	2386	97,8
41LEB2	2004	NO _x	1710	2375	2786	3029	3369	3650	4012	4875	2312	2133	97,8
41LEC1	2003	CO	5.99	7.95	9.26	10.04	11.00	11.88	13.04	32.08	7.76	7.11	95,2
41LEC1	2004	CO	5.31	6.83	7.86	8.47	9.31	10.20	12.10	37.50	6.77	6.16	95,5
41LEB2	2003	CO	6.21	8.14	9.71	10.67	11.90	12.93	14.25	19.51	8.11	7.49	96,8
41LEB2	2004	CO	5.43	7.03	8.23	8.92	9.85	10.95	12.50	20.94	6.97	6.46	96,2

**Tableau VII: DISTRIBUTION de FRÉQUENCES CUMULÉES
VALEURS HORAIRES**

ANNÉE CALENDRIER
TOUS LES JOURS NON OUVRABLES – TOUTES les VALEURS HORAIRES
Centiles NO, NO₂ en NO_x en µg/m³ – CO en mg/m³

Poste	An	Pol	P ₃₀	P ₅₀	P ₇₀	P ₈₀	P ₉₀	P ₉₅	P ₉₈	P _{99.9}	MA	MG	%Np
41LEC1	2003	NO	759	1003	1181	1282	1422	1563	1747	2759	990	910	93,5
41LEC1	2004	NO	712	930	1088	1172	1295	1392	1585	3726	924	847	94,4
41LEB2	2003	NO	1098	1517	1804	1975	2189	2342	2502	2881	1487	1374	97,8
41LEB2	2004	NO	967	1343	1580	1727	1920	2089	2268	2648	1311	1204	97,8
41LEC1	2003	NO ₂	184	236	278	300	326	356	391	729	235	221	93,5
41LEC1	2004	NO ₂	183	232	270	288	313	341	429	1121	235	220	94,4
41LEB2	2003	NO ₂	227	305	366	397	439	471	504	585	302	283	97,8
41LEB2	2004	NO ₂	233	311	370	401	441	474	524	679	309	290	97,8
41LEC1	2003	NO _x	1337	1774	2092	2255	2479	2714	3035	4896	1749	1620	93,5
41LEC1	2004	NO _x	1278	1669	1932	2069	2281	2443	2871	6664	1647	1521	94,4
41LEB2	2003	NO _x	1916	2637	3122	3413	3770	4020	4295	4954	2574	2389	97,8
41LEB2	2004	NO _x	1717	2366	2787	3038	3367	3632	3976	4689	2312	2137	97,8
41LEC1	2003	CO	6.02	8.00	9.32	9.97	10.89	11.75	12.99	28.44	7.80	7.18	93,9
41LEC1	2004	CO	5,41	6,89	7,88	8,43	9,29	10,26	12,36	34,54	6,80	6,23	93,7
41LEB2	2003	CO	6.26	8.21	9.75	10.61	11.85	12.82	14.24	18.42	8.15	7.57	95,4
41LEB2	2004	CO	5.51	7.07	8.26	8.95	9.79	10.98	12.31	18.70	7.03	6.54	94,4

NO₂ - 41LEC1 : DISTRIBUTION de FREQUENCES CUMULEES
Tous les JOURS - JOURS OUVRABLES - JOURS NON OUVRABLES
VALEURS HORAIRES - PERIODE ANNUELLE



NO₂ - 41LEB2 : DISTRIBUTION de FREQUENCES CUMULEES
Tous les JOURS - JOURS OUVRABLES - JOURS NON OUVRABLES
VALEURS HORAIRES - PERIODE ANNUELLE

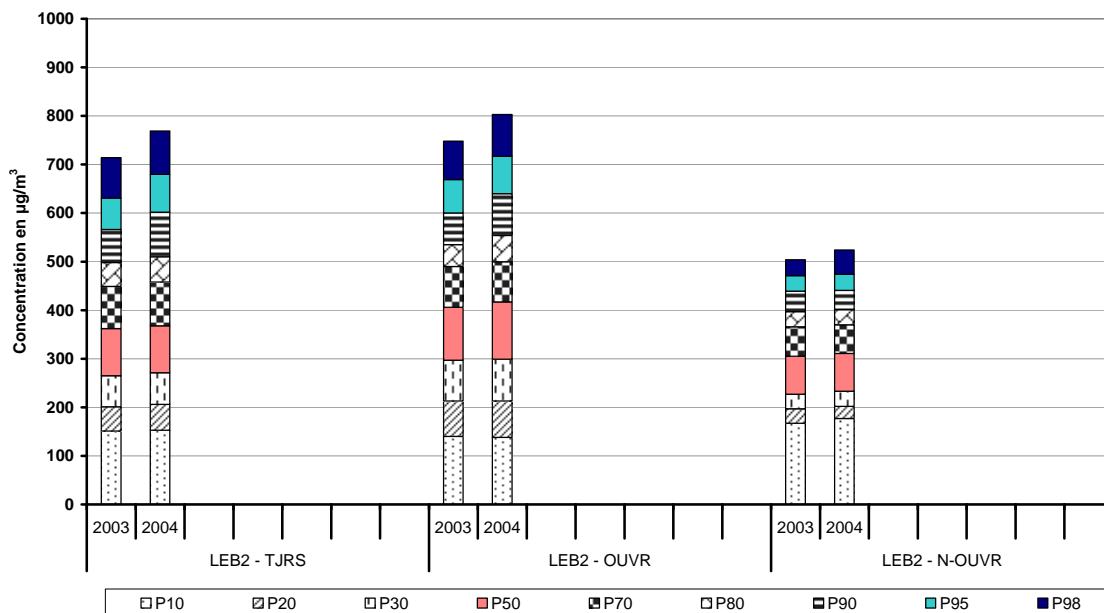
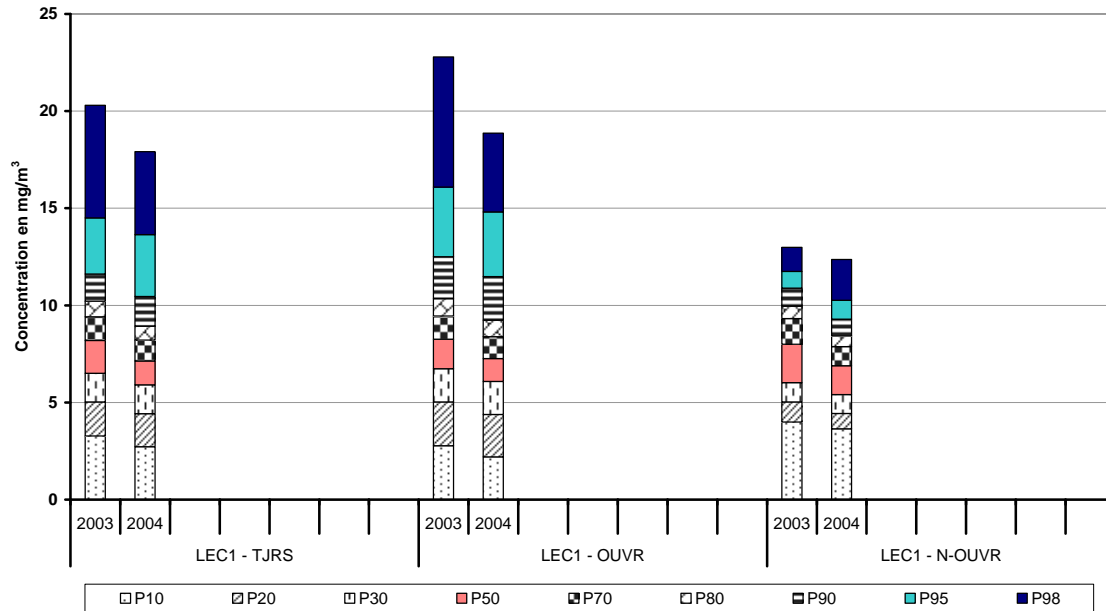


Fig. 6 : NO₂ - Distribution de Fréquences Cumulées des Valeurs Horaires dans les deux postes de mesure du tunnel Léopold II. Sélection *tous les jours*, les *jours ouvrables* et *non ouvrables*. Périodes annuelles de 2003 et 2004

CO - 41LEC1 : DISTRIBUTION de FREQUENCES CUMULEES
Tous les JOURS - JOURS OUVRABLES - JOURS NON OUVRABLES
 VALEURS HORAIRES - PERIODE ANNUELLE



CO - 41LEB2 : DISTRIBUTION de FREQUENCES CUMULEES
Tous les JOURS - JOURS OUVRABLES - JOURS NON OUVRABLES
 VALEURS HORAIRES - PERIODE ANNUELLE

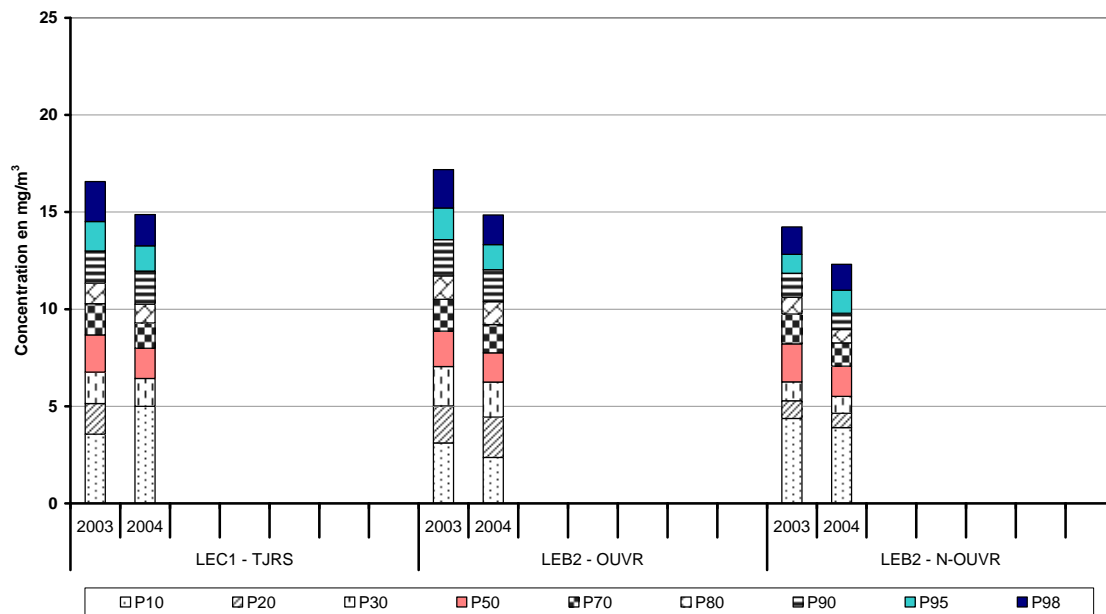
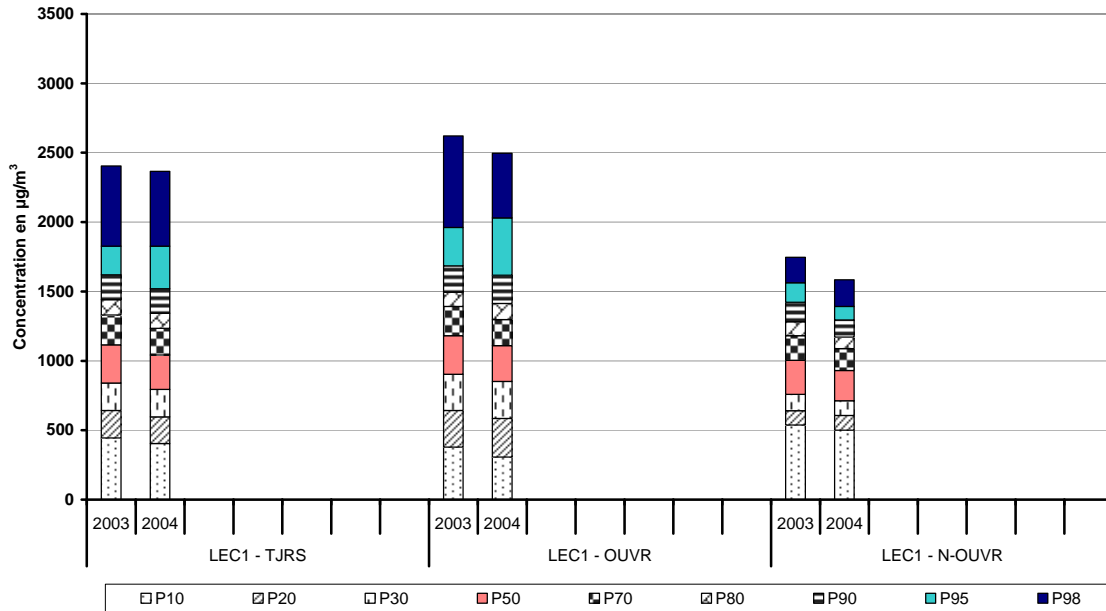


Fig. 7 : CO - Distribution de Fréquences Cumulées des Valeurs Horaires dans les deux postes de mesure du tunnel Léopold II. Sélection *tous les jours*, les *jours ouvrables* et *non ouvrables*. Périodes annuelles de 2003 et 2004

NO - 41LEC1 : DISTRIBUTION de FREQUENCES CUMULEES
Tous les JOURS - JOURS OUVRABLES - JOURS NON OUVRABLES
 VALEURS HORAIRES - PERIODE ANNUELLE



NO - 41LEB2 : DISTRIBUTION de FREQUENCES CUMULEES
Tous les JOURS - JOURS OUVRABLES - JOURS NON OUVRABLES
 VALEURS HORAIRES - PERIODE ANNUELLE

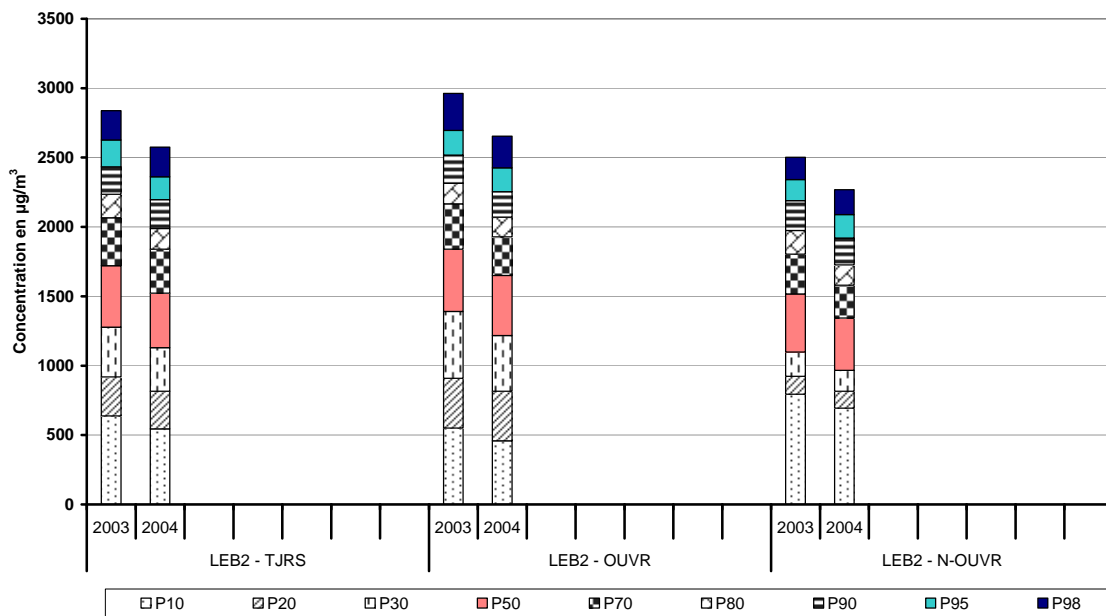


Fig. 8 : NO - Distribution de Fréquences Cumulées des Valeurs Horaires dans les deux postes de mesure du tunnel Léopold II. Sélection *tous les jours*, les *jours ouvrables* et *non ouvrables*. Périodes annuelles de 2003 et 2004

4.3 Dépassements

Les tableaux VIII et IX (page 25 et 26) donnent, pour la période de *décembre 2002 à mars 2005*, le nombre de dépassements par mois des niveaux mentionnés dans l'arrêté du 22 décembre 1994:

pour le NO₂:

- une valeur horaire de 400 µg/m³ [NO₂-1H]
- une moyenne glissante sur 20 minutes de 1000 µg/m³ [NO₂-20 Min]
- une valeur semi-horaire interpolée de 850 µg/m³ [NO₂-HH]

pour le CO:

- une valeur semi-horaire de 116 mg/m³ (=100 ppm) [CO-HH]

Le tableau VIII donne les résultats pour le poste de mesure en direction du centre (41LEC1). Pour chaque mois sont donnés le nombre de dépassements des différents niveaux et le nombre de jours (entre crochets) avec dépassement. Le tableau IX donne les mêmes résultats pour le poste en direction de la basilique (41LEB2). Un résumé du nombre de dépassements par période annuelle dans les deux postes de mesure est donné dans les tableaux X et XI (page 27).

Pour le NO₂, les dépassements du seuil de 400 µg/m³ comme valeur horaire, de 1000 µg/m³ comme moyenne sur 20 minutes et de 850 µg/m³ comme valeur semi-horaire sont représentés graphiquement dans les figures 9, 10 et 11 (page 28, 29 et 30). Le graphique du dessus donne le nombre de dépassements par mois et celui du dessous le nombre de jours avec dépassement.

Le nombre restreint de pics de pollution pendant la période estivale est certainement dû en partie à la diminution du trafic pendant cette période de l'année. La dispersion du trafic dans la ville s'effectue plus rapidement et il y a donc moins de files à la fin du tunnel.

400 µg/m³ NO₂ comme valeur horaire : Dans le poste de mesure en direction de la basilique (41LEB2), le seuil de 400 µg/m³ est fréquemment dépassé: avec 250 à 350 valeurs horaires par mois le seuil est dépassé presque quotidiennement (26 à 30 jours par mois), également pendant le week-end. Il y a en moyenne une dizaine de dépassements par jour. En 2004 il y eu une augmentation de 5% du nombre de dépassements par rapport à l'an 2003 : 3.664 valeurs horaires en 345 jours en 2004 comparées à 3.478 valeurs horaires en 338 jours en 2003.

Dans le poste de mesure en direction du centre (41LEC1), ce seuil est dépassé moins souvent; il y a entre 20 et 140 dépassements par mois répartis sur 8 à 26 jours (en moyenne quatre heures de dépassements par jour). En 2004 le nombre de dépassements est 9% plus élevé qu'en 2003 : 949 valeurs horaires en 235 jours en 2004 à comparer à 871 valeurs horaires en 220 jours en 2003.

Le plus grand nombre de dépassements au poste en direction de la basilique (41LEB2) est concordant à l'information reprise dans les tableaux de distribution des fréquences cumulées (tableaux II à VII) : les concentrations en NO₂ sont en moyenne plus élevées au point de mesure basilique (41LEB2) qu'au point de mesure centre (41LEC1).

1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 comme moyenne sur 20 minutes : par contre le nombre de valeurs de pointe, notamment les dépassements de la valeur seuil de 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 20 minutes, est nettement plus élevé au point de mesure en direction du centre (41LEC1). Au cours de l'année calendrier 2004, on a constaté dans ce poste de mesure un total de 278 dépassements (périodes de 20 minutes) en 74 jours, contre 184 périodes en 50 jours dans le poste de mesure en direction de la basilique (41LEB2). Ces dépassements sont donnés de façon détaillée en annexe.

En 2004, on constate une augmentation nette du nombre de dépassements de ce seuil : plus de 30% en plus dans le poste de mesure en direction de centre (212 périodes en 66 jours en 2003) ; dans le poste en direction de la basilique le nombre de dépassements à triplé (58 périodes en 27 jours en 2003). On constate surtout une augmentation du nombre de dépassements durant le mois de septembre (41LEB1) et d'octobre 2004 (41LEC1).

Au point de mesure en direction du centre (41LEC1), les valeurs élevées se produisent surtout les jours ouvrables, pendant la période de pointe du matin. Certaines circonstances empêchant l'écoulement du trafic vers la petite ceinture, p. ex. manifestations, accidents, etc., peuvent conduire à des dépassements en cours de journée ou dans la soirée. On note également 24 dépassements durant le week-end, partagés sur 6 samedis (p.ex. le samedi après midi) et 3 dimanches. Les dépassements pendant la nuit sont exceptionnels et sont probablement dus à des travaux d'entretien dans le tunnel.

En direction de la basilique (41LEB2), les pics de pollution se produisent exclusivement les jours ouvrables pendant l'heure de pointe du soir. Les rares dépassements nocturnes sont, ici également, probablement imputables à des travaux d'entretien.

850 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 comme valeur semi-horaire : les dépassements de ce seuil correspondent en grande partie avec les dépassements du seuil de 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 20 minutes.

Pour le poste en direction du centre (41LEC1), on constate en 2004 une augmentation du nombre de dépassements de 24% : 189 valeurs semi-horaires en 81 jours en 2004 à comparer à 152 valeurs semi-horaires en 71 jours en 2003. Dans le poste de mesure en direction de la basilique (41LEB2), le nombre de dépassements a doublé : 190 valeurs semi-horaires en 73 jours en 2004 à comparer à 90 valeurs semi-horaires en 55 jours en 2003. Cette augmentation du nombre de dépassements se situe également en septembre (41LEB2) et octobre (41LEC1).

116 mg/m^3 CO comme valeur semi-horaire : jusqu'à présent ce seuil à été dépassé qu'une seule fois. Le mercredi 15 septembre à 23:30 h TU (01:30 h temps locale), la valeur de 135,69 mg/m^3 CO a été mesurée dans le poste en direction du centre (41LEC1). Probablement s'agit-il ici d'un dépassement causé par les travaux d'entretien.

Constats : la tendance à la baisse du nombre de pics, constatée en 2003, semble être terminée. En 2004 une légère augmentation (+5% et +9%) du nombre de dépassements de la valeur horaire de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en NO_2 a été constatée, ainsi qu'une augmentation marquée (+30% et +200%) du nombre de dépassements de la valeur de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 en tant que moyenne sur 20 minutes. Cette augmentation est principalement expliquée par le nombre de dépassements inhabituellement élevé en septembre pour le poste en direction de la basilique (41LEB2) et en octobre pour le poste en direction du centre (41LEC1).

Comme il a déjà été remarqué plus haut, la norme n'est dépassée que s'il y a une exposition effective durant la période considérée. Par expérience, on peut constater qu'un blocage d'une heure dans un tunnel est peu probable. Un séjour de 20 minutes, p. ex. pendant les périodes de pointe aux endroits où les concentrations sont les plus élevées (circulation au pas), peut cependant se produire (régulièrement).

Il serait donc recommandé prioritairement d'éviter l'apparition des pics de concentration par le développement et l'amélioration d'un régime de ventilation adaptable. Il serait utile d'inclure le niveau de NO_2 mesuré dans l'algorithme qui fait enclencher la ventilation.

Pour pouvoir réduire à court terme le nombre de dépassements du seuil de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en tant que valeur horaire, une ventilation plus permanente durant la journée serait nécessaire.

Tableau VIII: 41LEC1 – Poste de Mesure en direction du Centre

NOMBRE de DÉPASSEMENTS par MOIS
et
(NOMBRE de JOURS par MOIS avec DÉPASSEMENTS)

Mois	NO ₂ -1H > 400 µg/m ³	NO ₂ -20 Min > 1.000 µg/m ³	NO ₂ -HH > 850 µg/m ³	CO-HH > 116 mg/m ³
2002_12	74 (17)	73 (13)	52 (17)	0 (0)
2003_01	67 (19)	19 (6)	13 (6)	0 (0)
2003_02	94 (21)	22 (12)	14 (12)	0 (0)
2003_03	69 (22)	18 (8)	9 (7)	0 (0)
2003_04	76 (18)	34 (7)	24 (9)	0 (0)
2003_05	81 (18)	54 (13)	41 (12)	0 (0)
2003_06	87 (19)	20 (4)	12 (4)	0 (0)
2003_07	33 (8)	0 (0)	1 (1)	0 (0)
2003_08	80 (16)	2 (1)	1 (1)	0 (0)
2003_09	68 (16)	6 (3)	4 (3)	0 (0)
2003_10	95 (26)	2 (1)	10 (5)	0 (0)
2003_11	61 (21)	24 (7)	16 (6)	0 (0)
2003_12	60 (16)	11 (4)	7 (5)	0 (0)
2004_01	21 (12)	2 (2)	3 (3)	0 (0)
2004_02	46 (20)	17 (7)	11 (7)	0 (0)
2004_03	84 (23)	18 (7)	14 (7)	0 (0)
2004_04	86 (18)	24 (4)	19 (5)	0 (0)
2004_05	91 (18)	20 (6)	14 (7)	0 (0)
2004_06	100 (23)	32 (9)	21 (9)	0 (0)
2004_07	56 (12)	11 (3)	7 (3)	0 (0)
2004_08	67 (17)	18 (3)	11 (3)	0 (0)
2004_09	122 (24)	26 (6)	20 (8)	1 (1)
2004_10	140 (26)	71 (16)	41 (15)	0 (0)
2004_11	78 (22)	21 (6)	18 (8)	0 (0)
2004_12	58 (20)	18 (5)	10 (6)	0 (0)
2005_01	37 (15)	1 (1)	3 (2)	0 (0)
2005_02	72 (18)	11 (3)	8 (5)	0 (0)
2005_03	73 (20)	15 (3)	8 (3)	0 (0)

Tableau IX: 41LEB2 – Poste de Mesure en direction de la Basilique

NOMBRE de DÉPASSEMENTS par MOIS
 et
 (NOMBRE de JOURS par MOIS avec DÉPASSEMENTS)

Mois	NO ₂ -1H > 400 µg/m ³	NO ₂ -20 Min > 1.000 µg/m ³	NO ₂ -HH > 850 µg/m ³	CO-HH > 116 mg/m ³
2002_12	215 (26)	13 (5)	19 (7)	0 (0)
2003_01	249 (26)	5 (3)	5 (5)	0 (0)
2003_02	278 (25)	0 (0)	1 (1)	0 (0)
2003_03	312 (30)	0 (0)	4 (2)	0 (0)
2003_04	356 (29)	8 (3)	7 (3)	0 (0)
2003_05	332 (30)	1 (1)	7 (5)	0 (0)
2003_06	335 (30)	13 (7)	22 (12)	0 (0)
2003_07	251 (29)	12 (3)	11 (5)	0 (0)
2003_08	244 (26)	4 (3)	13 (8)	0 (0)
2003_09	284 (27)	3 (2)	5 (4)	0 (0)
2003_10	298 (30)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
2003_11	240 (27)	3 (2)	2 (2)	0 (0)
2003_12	299 (29)	9 (3)	13 (8)	0 (0)
2004_01	259 (29)	2 (1)	2 (1)	0 (0)
2004_02	275 (28)	9 (3)	8 (5)	0 (0)
2004_03	372 (31)	20 (6)	17 (8)	0 (0)
2004_04	295 (28)	5 (2)	6 (4)	0 (0)
2004_05	293 (28)	17 (3)	15 (5)	0 (0)
2004_06	329 (29)	29 (9)	30 (10)	0 (0)
2004_07	255 (25)	6 (3)	6 (4)	0 (0)
2004_08	275 (29)	15 (7)	24 (13)	0 (0)
2004_09	359 (30)	72 (11)	69 (15)	0 (0)
2004_10	338 (30)	3 (2)	5 (3)	0 (0)
2004_11	295 (28)	4 (2)	5 (3)	0 (0)
2004_12	319 (30)	2 (1)	3 (2)	0 (0)
2005_01	313 (29)	9 (3)	6 (3)	0 (0)
2005_02	297 (27)	10 (4)	13 (7)	0 (0)
2005_03	309 (28)	13 (3)	12 (5)	0 (0)

Tableau X: **41LEC1 – Poste de Mesure en direction du Centre**

NOMBRE de DÉPASSEMENTS par AN
 et
 (NOMBRE de JOURS par AN avec DÉPASSEMENTS)

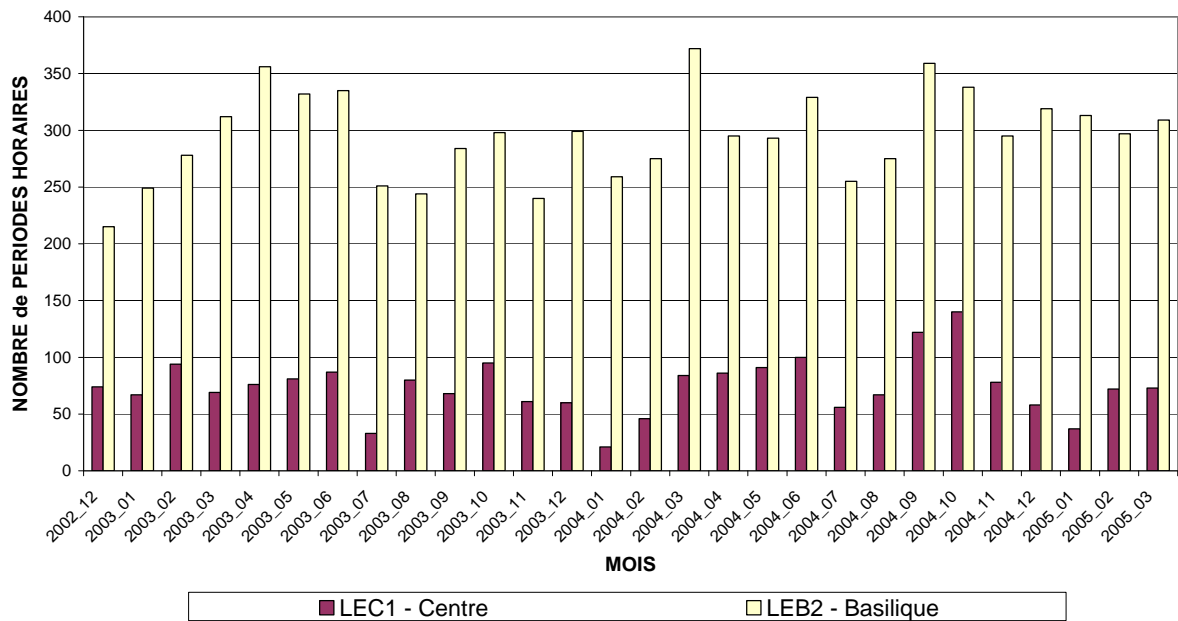
Année	NO ₂ -1H	NO ₂ -20 Min	NO ₂ -HH	CO-HH
	> 400 µg/m ³	> 1.000 µg/m ³	> 850 µg/m ³	> 116 mg/m ³
2003	871 (220)	212 (66)	152 (71)	0 (0)
2004	949 (235)	278 (74)	189 (81)	1 (1)

Tableau XI: **41LEB2 – Poste de Mesure en direction de la Basilique**

NOMBRE de DÉPASSEMENTS par AN
 et
 (NOMBRE de JOURS par AN avec DÉPASSEMENTS)

Année	NO ₂ -1H	NO ₂ -20 Min	NO ₂ -HH	CO-HH
	> 400 µg/m ³	> 1.000 µg/m ³	> 850 µg/m ³	> 116 mg/m ³
2003	3478 (338)	58 (27)	90 (55)	0 (0)
2004	3664 (345)	184 (50)	190 (73)	0 (0)

NO₂ - NOMBRE DE VALEURS HORAIRES > 400 µg/m³
TUNNEL LEOPOLD II - NOMBRE DE DEPASSEMENTS PAR MOIS



NO₂ - VALEURS HORAIRES > 400 µg/m³
NOMBRE DE JOURS DE DEPASSEMENTS PAR MOIS

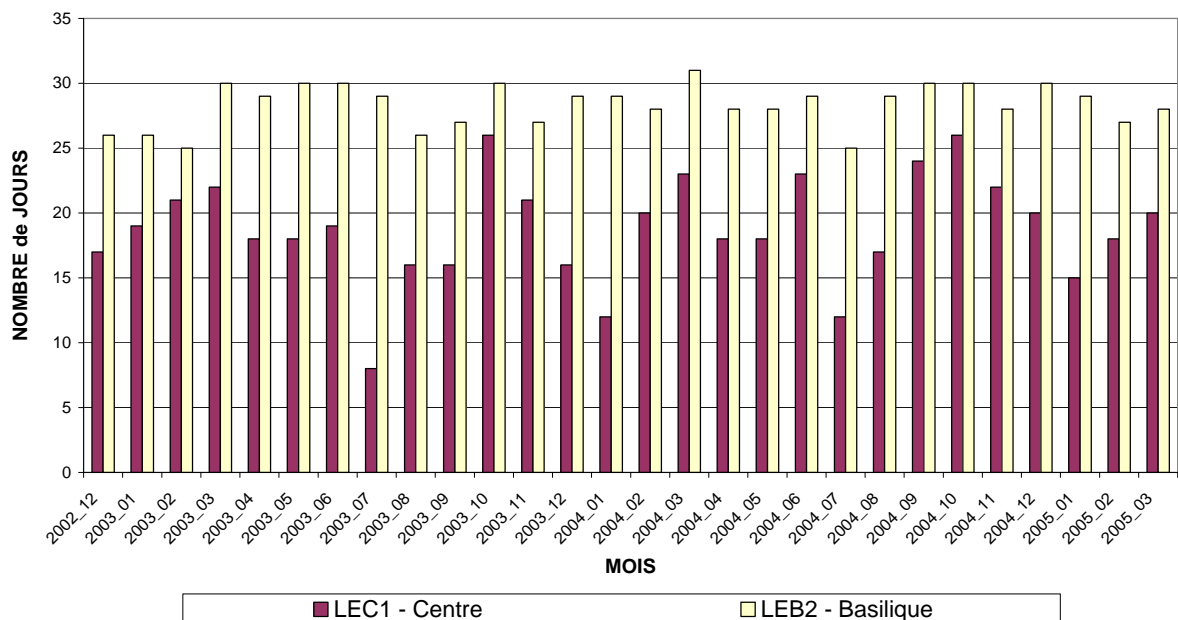
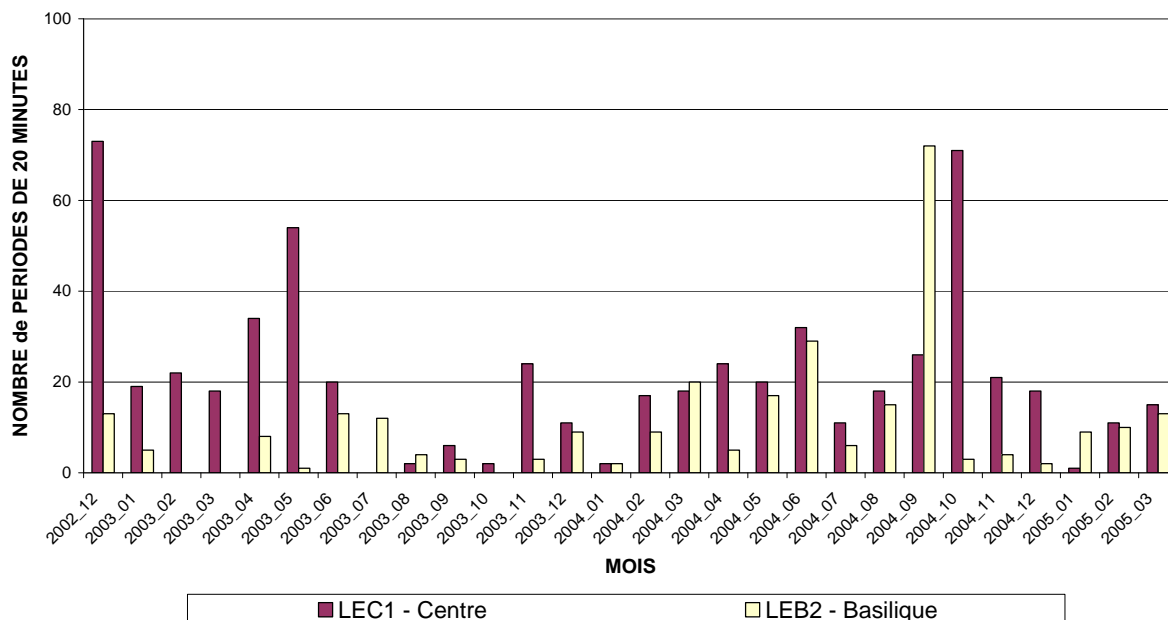


Fig. 9 : NO₂ –Valeurs Horaires > 400 µg/m³. Nombre de dépassements par mois et nombre de jours par mois avec dépassements (décembre 2002 – mars 2005)

NO₂ - NOMBRE DE PERIODES de 20-Min > 1.000 µg/m³
TUNNEL LEOPOLD II - NOMBRE DE DEPASSEMENTS PAR MOIS



NO₂ - MOYENNES sur 20-Min > 1.000 µg/m³
NOMBRE DE JOURS DE DEPASSEMENTS PAR MOIS

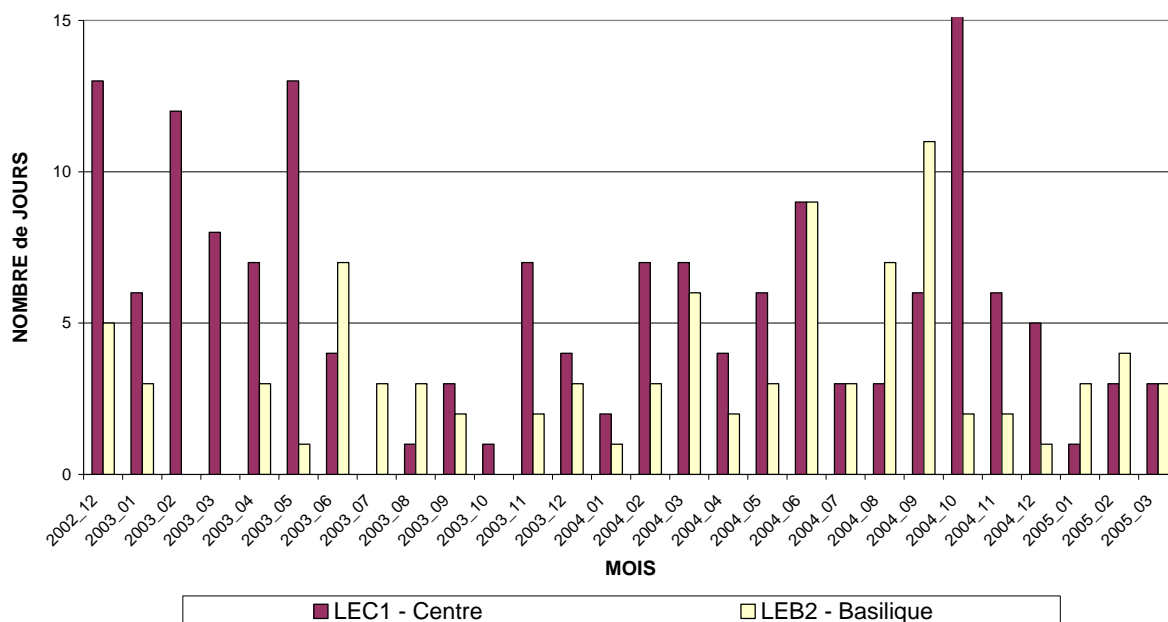
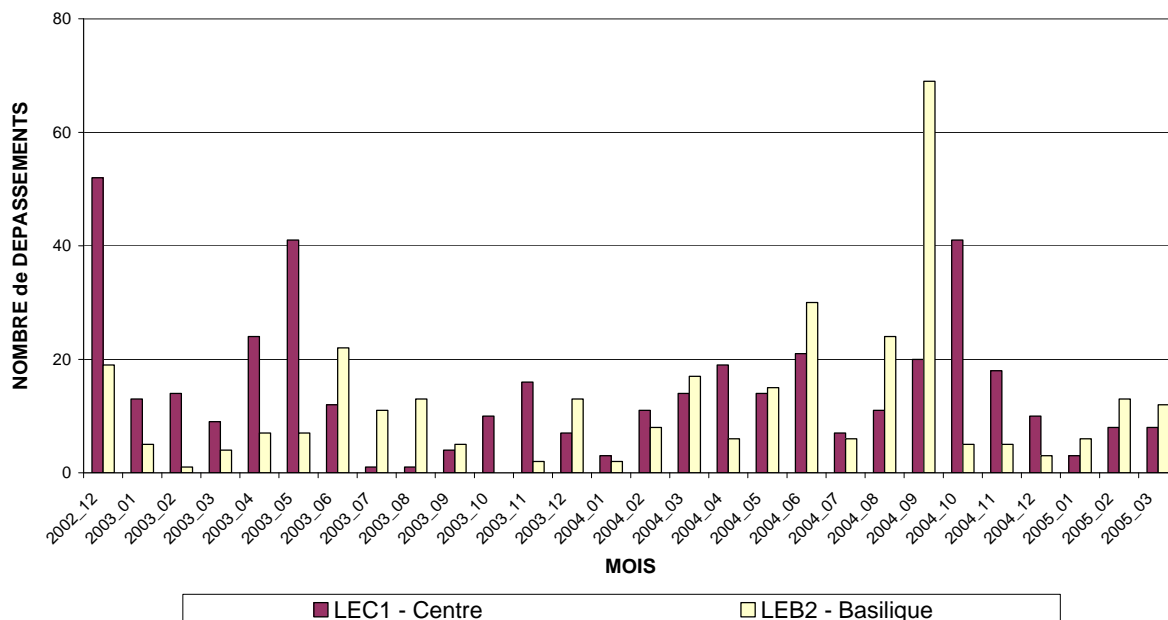


Fig. 10 : NO₂ – Moyennes Glissantes sur 20 minutes > 1.000 µg/m³. Nombre de dépassements par mois et nombre de jours par mois avec dépassements (décembre 2002 – mars 2005)

NO₂ - NOMBRE DE VALEURS SEMI-HORAIRES > 850 µg/m³
TUNNEL LEOPOLD II - NOMBRE DE DEPASSEMENTS PAR MOIS



NO₂ - VALEURS SEMI-HORAIRES > 850 µg/m³
NOMBRE DE JOURS DE DEPASSEMENTS PAR MOIS

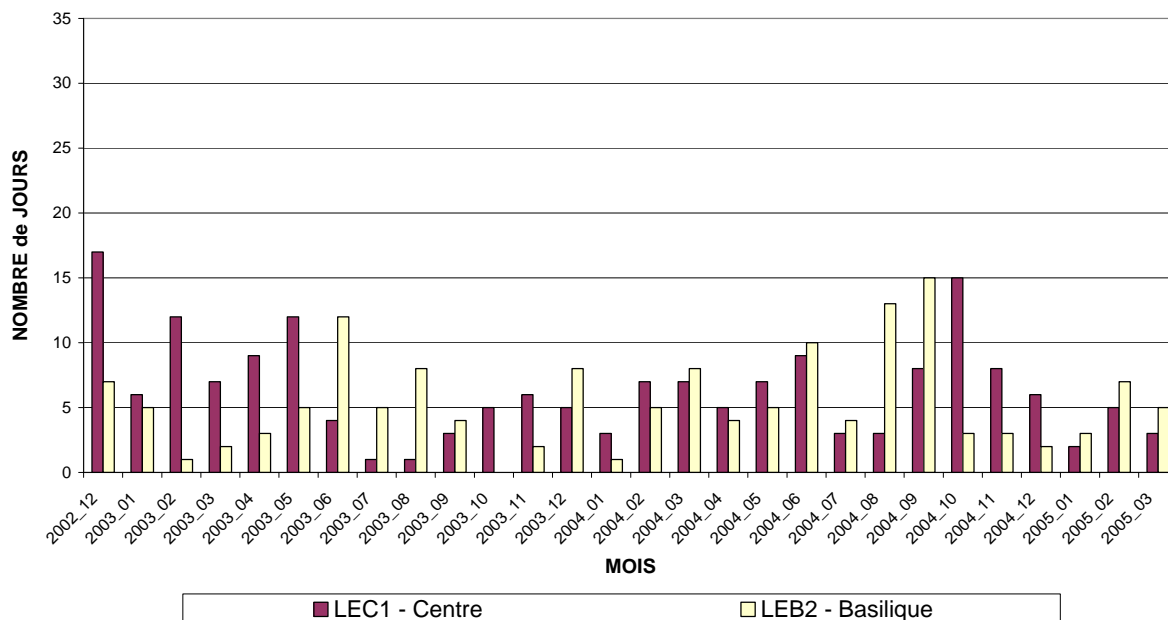


Fig. 11 : NO₂ – Valeurs Semi-Horaires > 850 µg/m³. Nombre de dépassements par mois et nombre de jours par mois avec dépassements (décembre 2002 – mars 2005)

4.4 Profil journalier moyen

Dans les graphiques des figures 12 à 17 sont représentés les profils journaliers pour un dimanche moyen, un samedi moyen et un jour ouvrable moyen. Les graphiques du dessus donnent toujours les résultats pour la période hivernale *octobre 2004 – mars 2005*, et les graphiques du dessous les résultats de la période estivale *avril – septembre 2004*.

Les résultats pour le NO₂ sont donnés dans les figures 12 et 13, respectivement pour les postes de mesure en direction du centre (41LEC1) et de la basilique (42LEB2). Les résultats pour le NO du poste de mesure en direction du centre sont présentés dans la figure 14 et ceux du poste de mesure en direction de la basilique dans la figure 15. Le profil journalier pour le CO des deux postes de mesure est donné dans les figures 16 et 17.

Dans les deux postes de mesure, et pour tous les paramètres mesurés (NO₂, NO et CO), les concentrations sont en moyenne les plus élevées les jours ouvrables et en moyenne plus élevées les samedis que les dimanches.

Dans le poste de mesure en direction du centre (41LEC1), on constate pour le jour ouvrable moyen de la période hivernale *octobre 2004-mars 2005*, un pic matinal net (voir les graphiques supérieurs des figures 12, 14 et 16). Ce pic matinal disparaît en grande partie ou complètement pendant la période estivale *avril – septembre 2004* (graphiques inférieurs des figures 12, 14 et 16).

Les concentrations généralement plus élevées pour le NO₂ et le CO durant la période de pointe du matin montrent la formation régulière de files à la sortie du tunnel. L'absence de ces concentrations plus élevées durant la période estivale est probablement due en partie à la formation moins fréquente de files (moins de trafic).

Au point de mesure en direction de la basilique (41LEB2), il y a, les jours ouvrables pendant la période hivernale 2004/2005, une légère augmentation de la concentration lors de la pointe du matin. En fin d'après-midi et jusque dans la soirée, il y a en permanence des concentrations élevées (graphiques supérieurs dans les figures 13, 15 et 17). Pour le NO et le NO₂, on ne peut cependant pas parler d'un véritable pic de concentration, ce qui concorde avec le nombre plus restreint de pics de concentration de NO₂ à cet endroit. Les pics du matin et du soir pour le CO se profilent de façon un peu plus nette.

Pendant la période estivale 2004, il y a de façon générale une augmentation des concentrations l'après-midi et le soir. Pour le CO pendant l'été, les pics du matin et du soir se remarquent encore, bien que plus faibles (graphique inférieur de la figure 17).

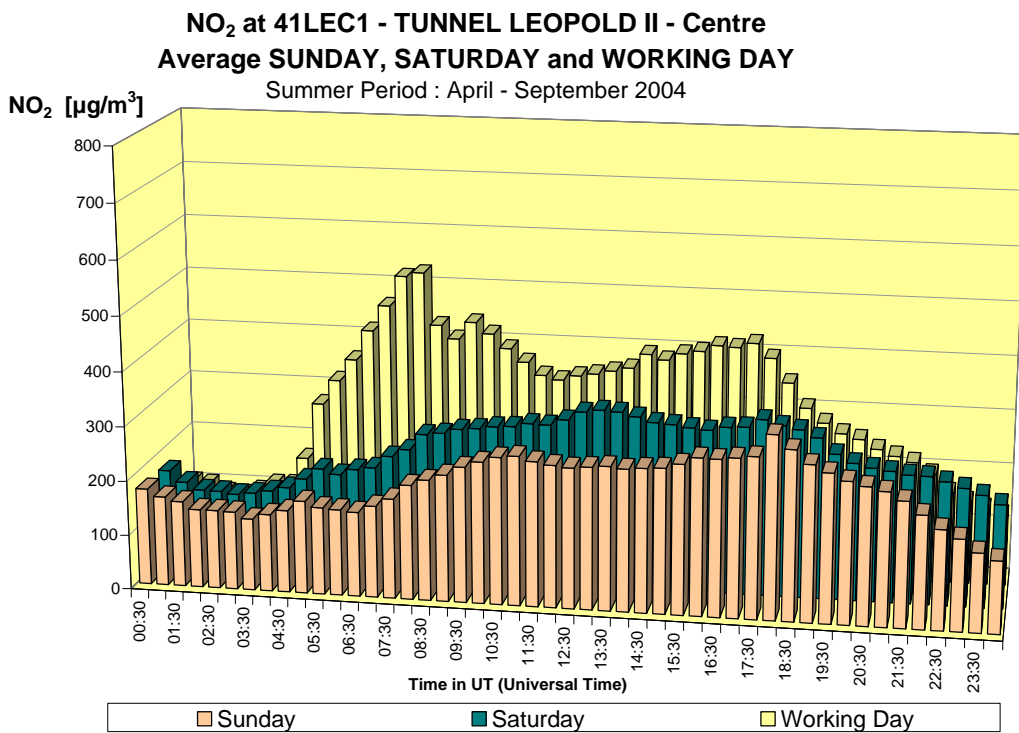
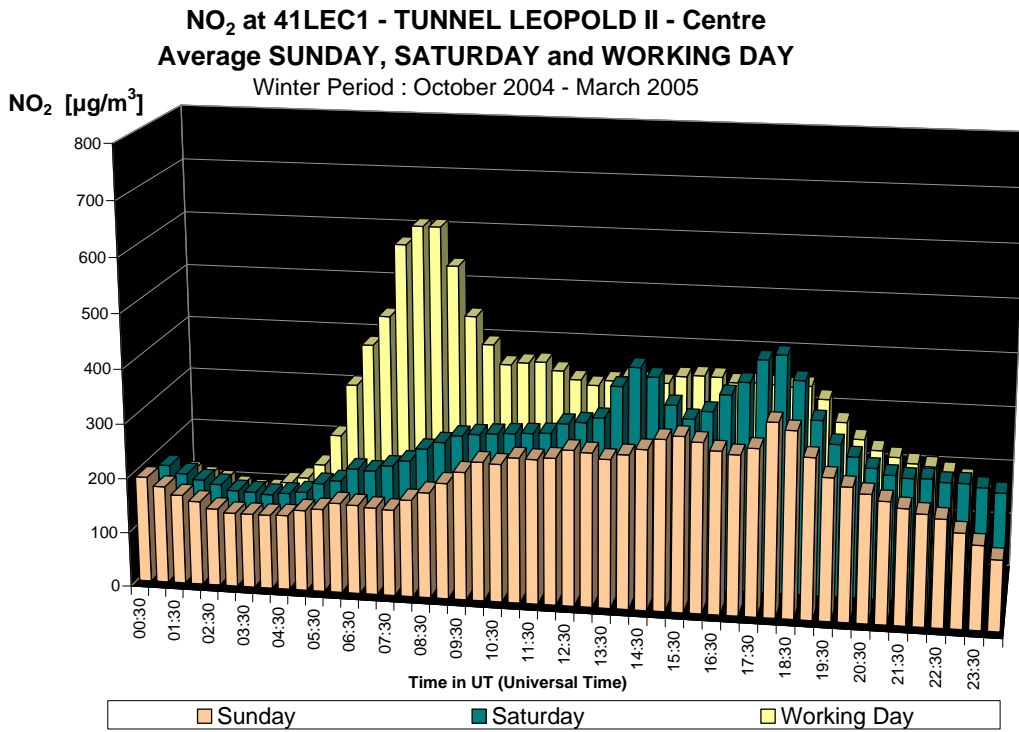


Fig. 12 : NO₂ – évolution journalière moyenne au poste de mesure 41LEC1 (centre)
 Comparaison entre un dimanche, un samedi et un jour ouvrable moyen
Période hivernale 2004-2005 et période estivale 2005

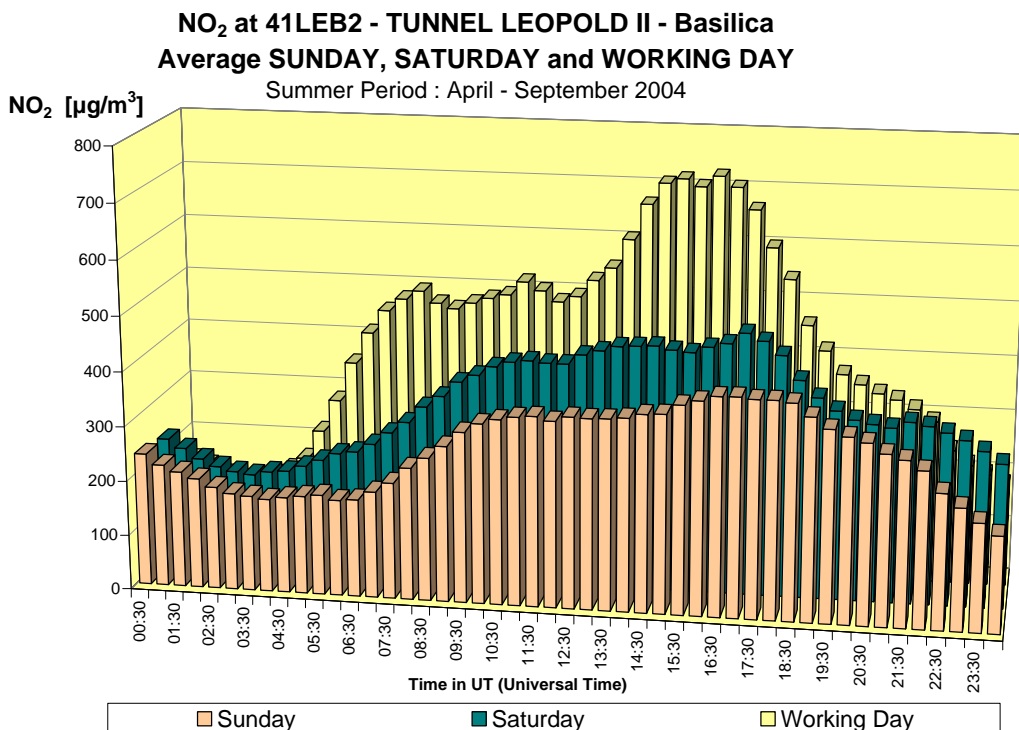
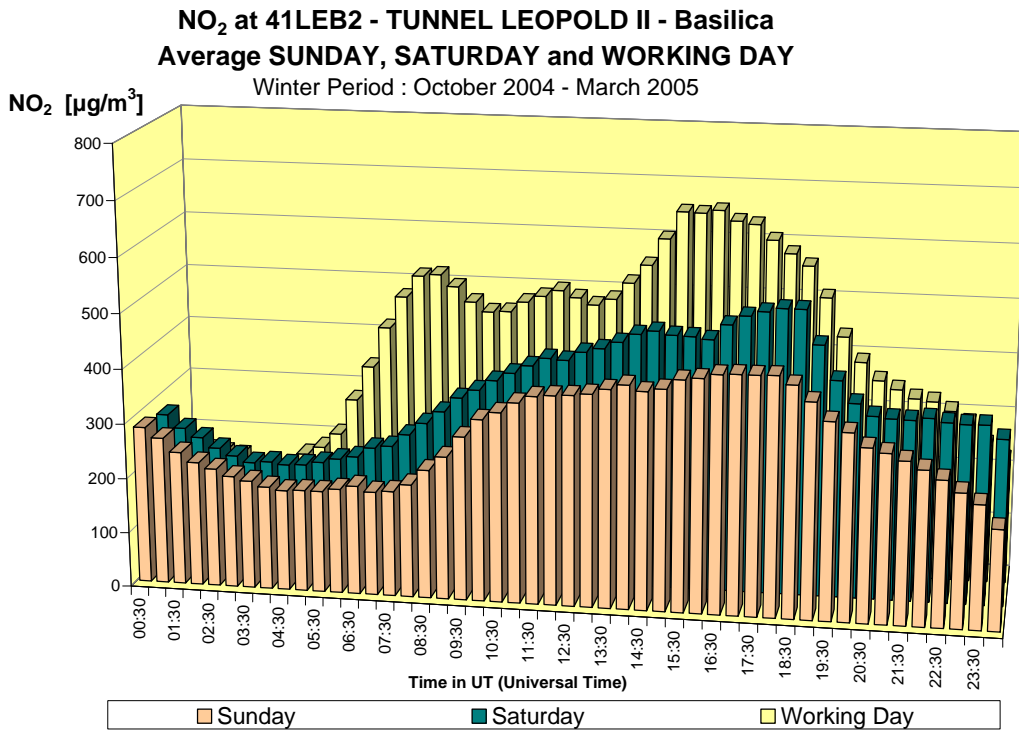
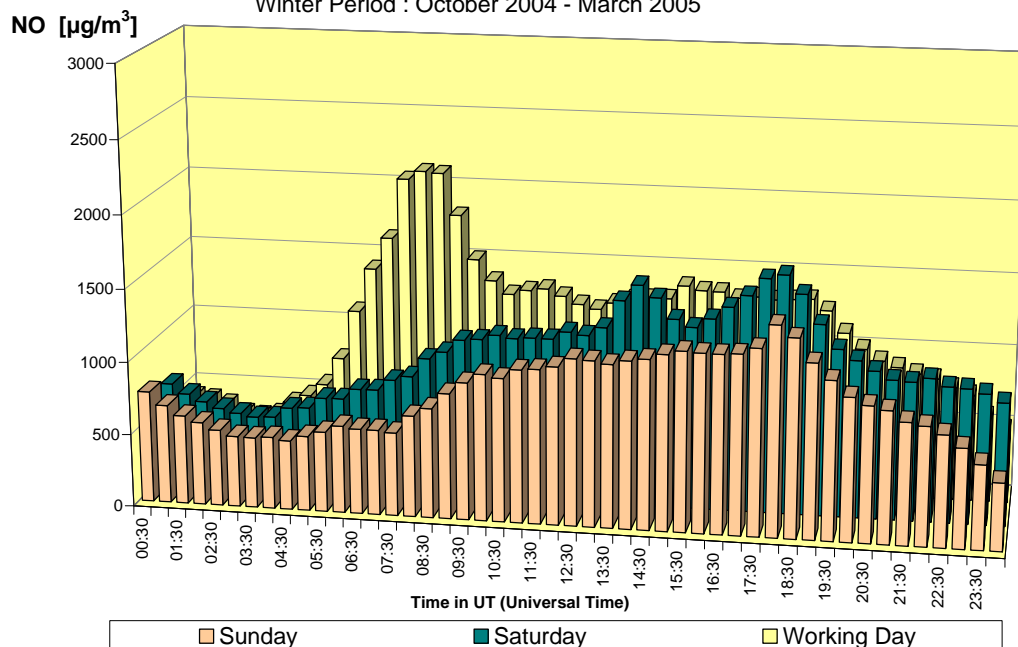


Fig. 13 : NO₂ – évolution journalière moyenne au poste de mesure 41LEB2 (basilique)
 Comparaison entre un dimanche, un samedi et un jour ouvrable moyen
Période hivernale 2004-2005 et période estivale 2004

NO at 41LEC1 - TUNNEL LEOPOLD II - Centre
Average SUNDAY, SATURDAY and WORKING DAY

Winter Period : October 2004 - March 2005



NO at 41LEC1 - TUNNEL LEOPOLD II - Centre
Average SUNDAY, SATURDAY and WORKING DAY

Summer Period : April - September 2004

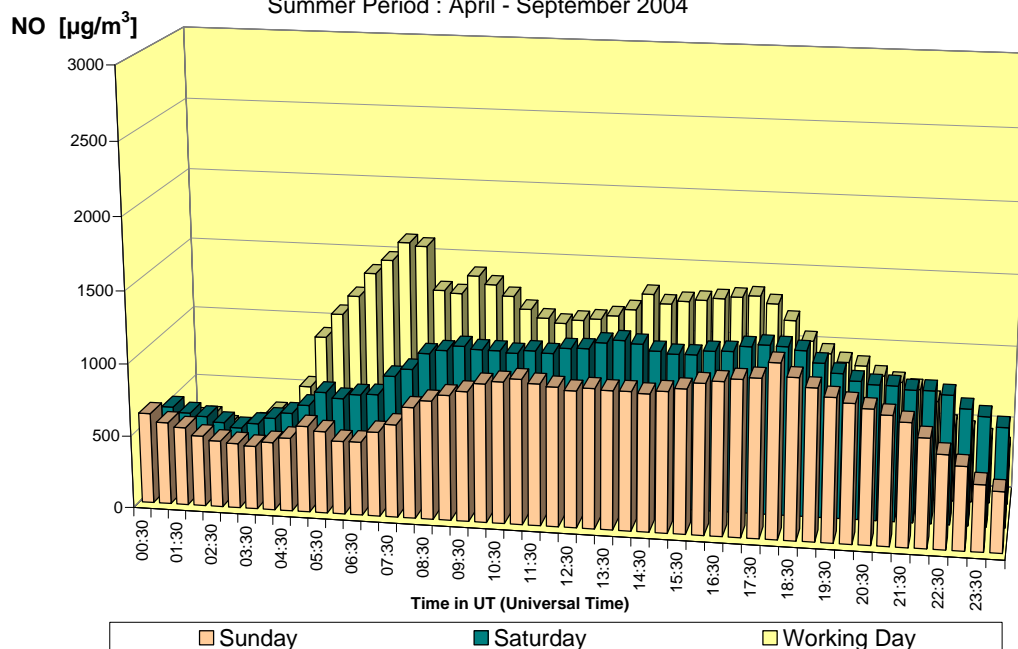


Fig. 14 : NO – évolution journalière moyenne au poste de mesure 41LEC1 (centre)
 Comparaison entre un dimanche, un samedi et un jour ouvrable moyen
 Période hivernale 2004-2005 et période estivale 2004

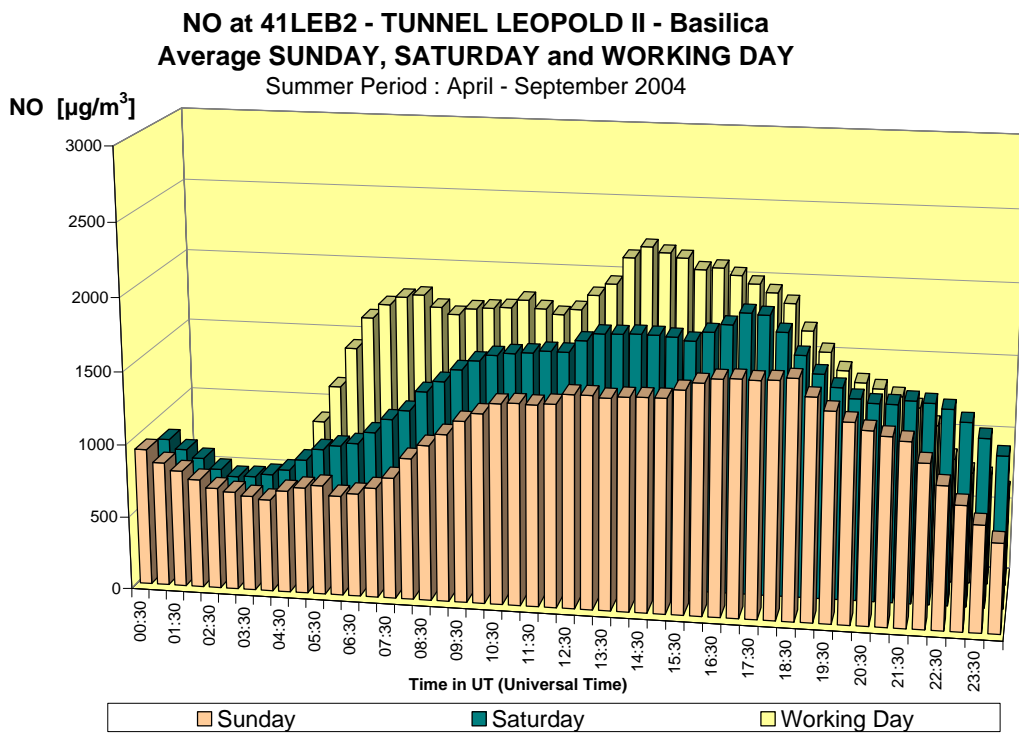
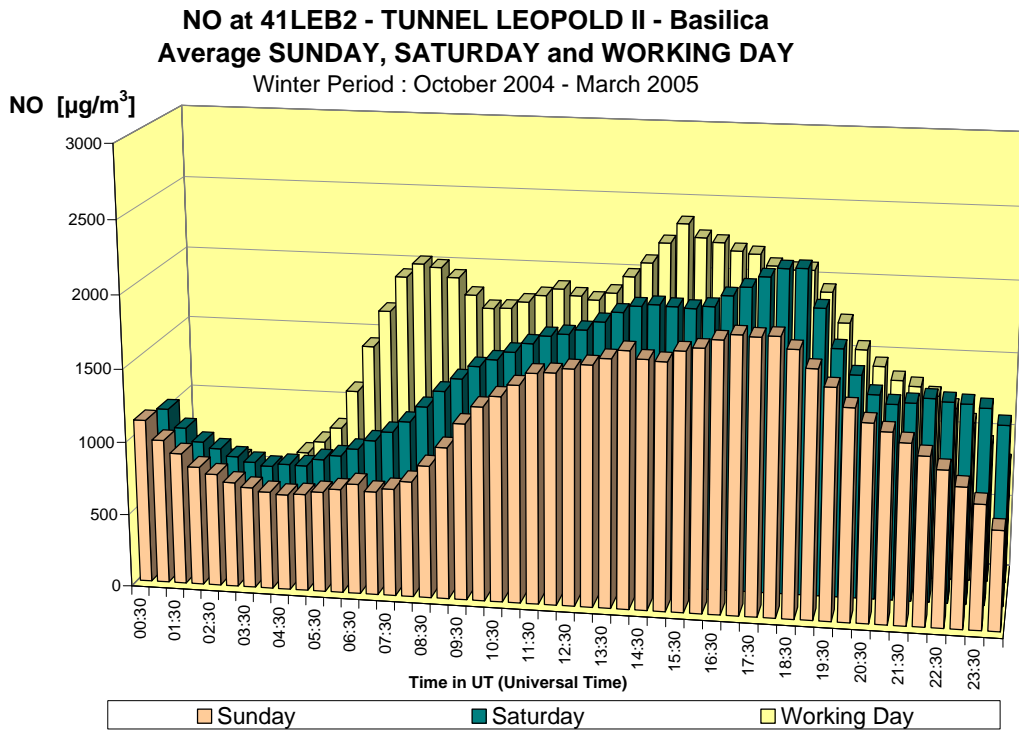


Fig. 15 : NO – évolution journalière moyenne au poste de mesure 41LEB2 (basilique)
 Comparaison entre un dimanche, un samedi et un jour ouvrable moyen
Période hivernale 2004-2005 et période estivale 2004

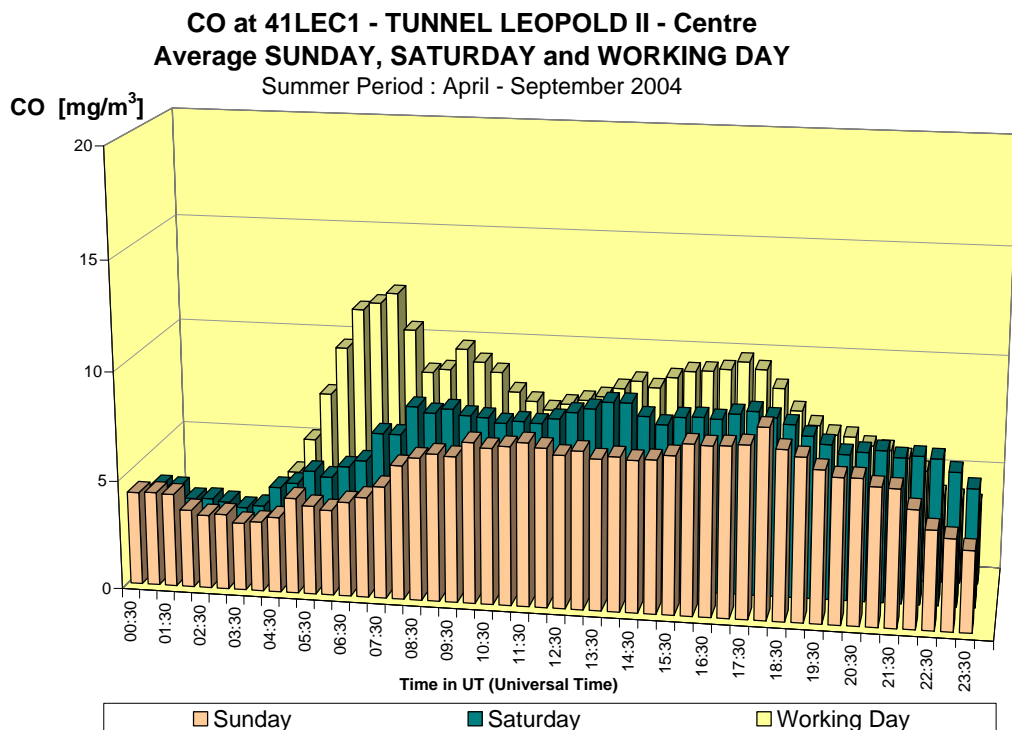
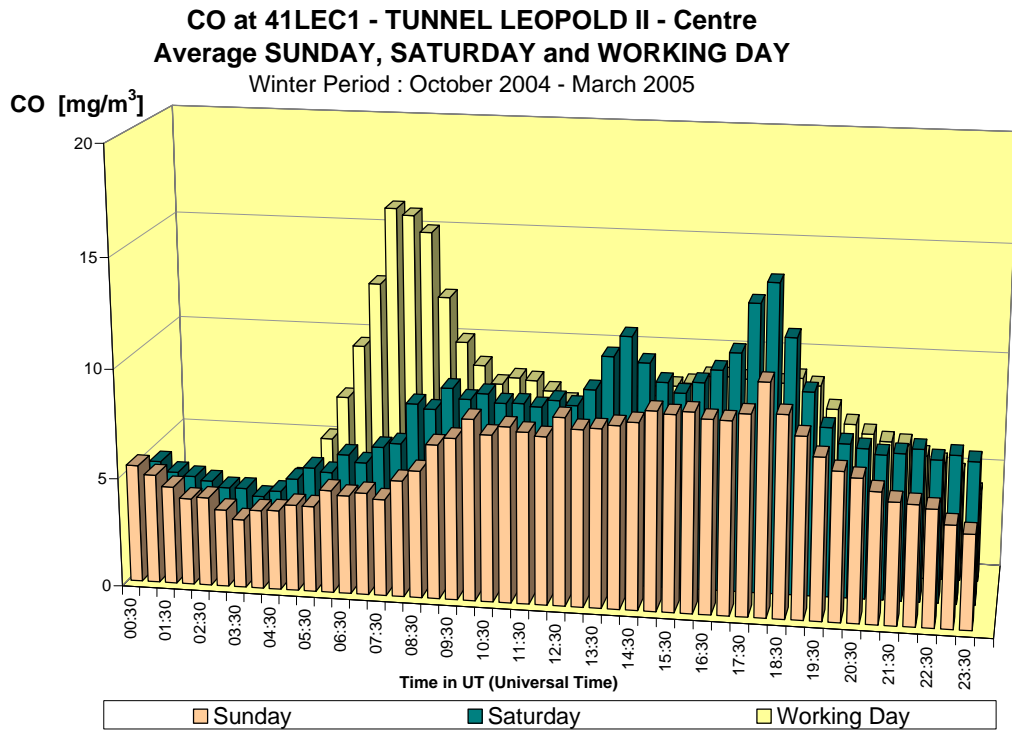


Fig. 16 : CO – évolution journalière moyenne au poste de mesure 41LEC1 (centre)
 Comparaison entre un dimanche, un samedi et un jour ouvrable moyen
Période hivernale 2004-2005 et période estivale 2004

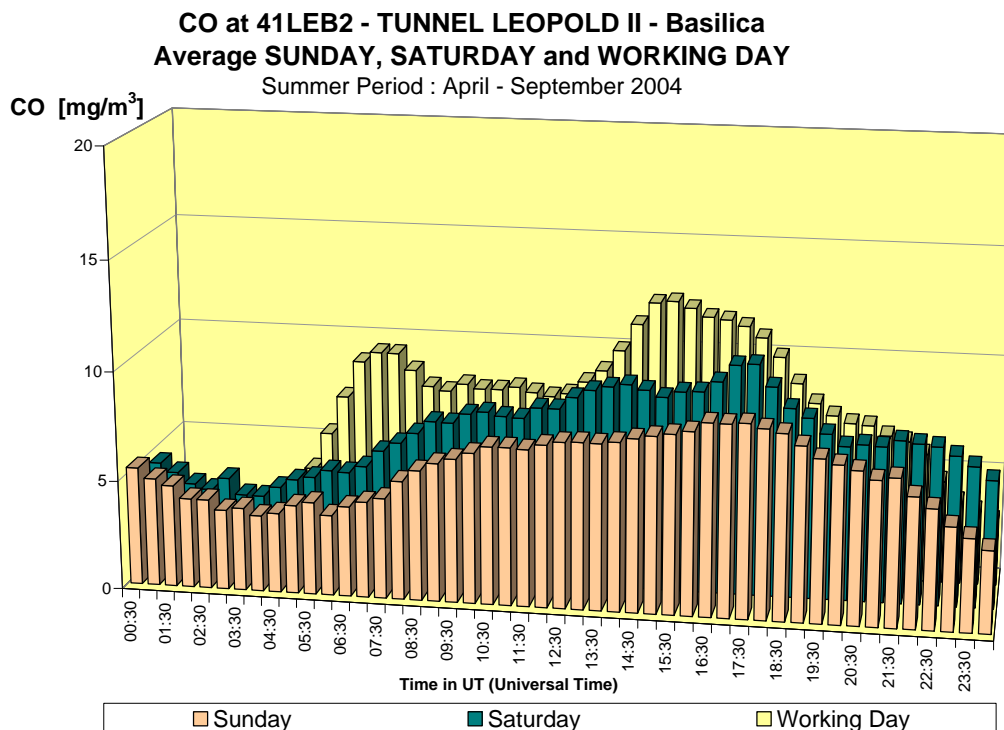
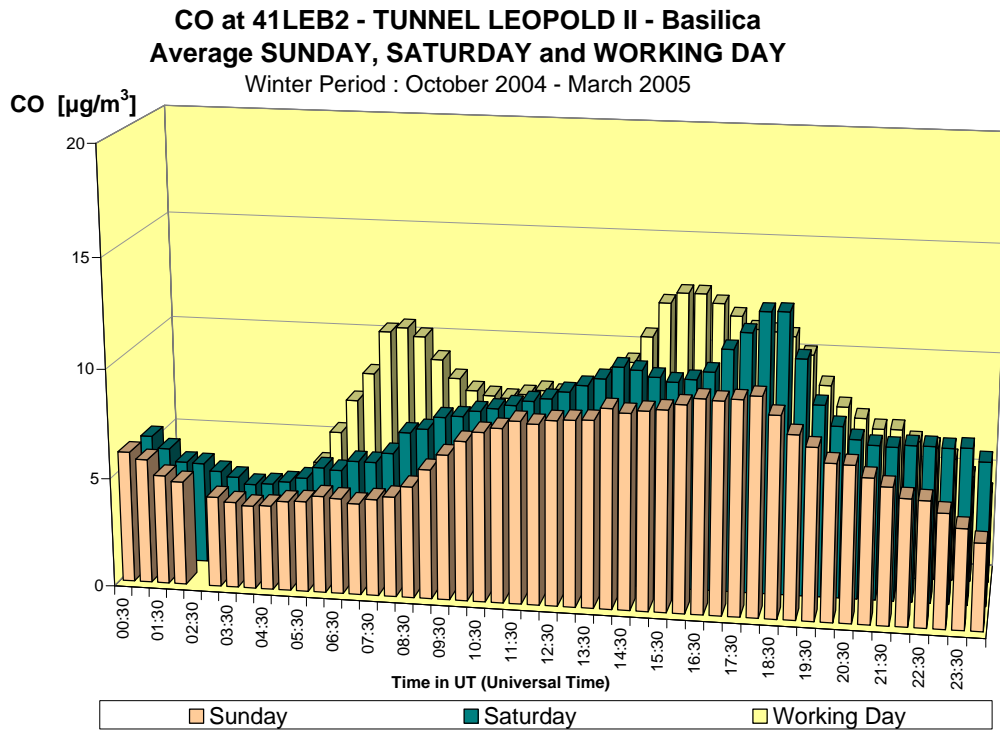


Fig. 17 : CO – évolution journalière moyenne au poste de mesure 41LEB2 (basilique)
 Comparaison entre un dimanche, un samedi et un jour ouvrable moyen
Période hivernale 2004-2005 et période estivale 2004

4.5 Profil hebdomadaire moyen

Dans les figures 18 et 19 sont représentés les profils hebdomadaires moyens des paramètres mesurés dans les postes de mesure en direction du centre (41LEC1) et de la basilique (41LEB2). Dans les graphiques, pour chaque période d'une heure, sont représentés la moyenne, la médiane (P50) et les centiles P10 et P90. Ces deux centiles délimitent pratiquement le domaine dans lequel varient normalement les concentrations de jour en jour.

Les graphiques de gauche se rapportent à la période estivale *avril -septembre 2004* et ceux de droite, à la période hivernale *octobre 2004 – mars 2005*. Les concentrations moyennes sont un peu plus élevées les jours ouvrables que les samedis et les dimanches.

Pour le poste de mesure en direction du centre (41LEC1), on constate pendant la période hivernale 2004-2005 (graphiques de droite de la figure 18), pour tous les jours ouvrables de la semaine, des pics de concentration pendant la pointe du matin ; tant le P90 que la moyenne et la médiane sont nettement plus élevés que pendant le reste de la journée. Le profil du P90 montre qu'il y a également des concentrations plus élevées le vendredi soir et le samedi après-midi.

Pour la période d'été 2004 (graphiques de gauche de la figure 18), le pic du matin est encore visible dans l'évolution du P90 (10% des valeurs sont encore plus élevées que le P90), mais beaucoup moins pour le P50 (médiane) et pour la moyenne des concentrations.

A l'exception du pic matinal pendant la période hivernale, l'écart entre le P10 et le P90 est assez faible. Cela indique que les concentrations sont très reproductibles de jour en jour (par type de jour). Dans les postes de mesure de la qualité de l'air en surface, cet écart est beaucoup plus grand (parfois d'un facteur 4 ou 5).

Les concentrations sont largement plus élevées dans les tunnels que dans l'air extérieur. Avec un schéma quotidien des émissions plus ou moins constant (trafic), les concentrations sont surtout influencées par le renouvellement de l'air. Dans les tunnels, ce renouvellement est réglé par la ventilation (naturelle ou forcée). Dans l'air ambiant, les conditions météorologiques (vitesse du vent, gradient de température, etc.) sont prépondérantes pour une dispersion plus ou moins bonne de la pollution.

Au point de mesure basilique (LEB2), les concentrations les plus élevées apparaissent l'après-midi et en début de soirée. Le profil du P90 montre des pics de concentration lors de la pointe du soir en période hivernale. Les pics de concentration du soir à cet endroit sont plus longs mais moins élevés que les pics du matin en direction du centre.

Pendant la période estivale, seule la valeur P90 pour le NO₂ est nettement plus élevée que la concentration moyenne. Le rapport entre les concentrations de NO₂ dans les tunnels et dans l'air ambiant est plus faible que pour le NO et le CO. En période estivale le niveau de concentration du NO₂ dans le tunnel est encore légèrement influencé par l'activité photochimique dans l'air ambiant.

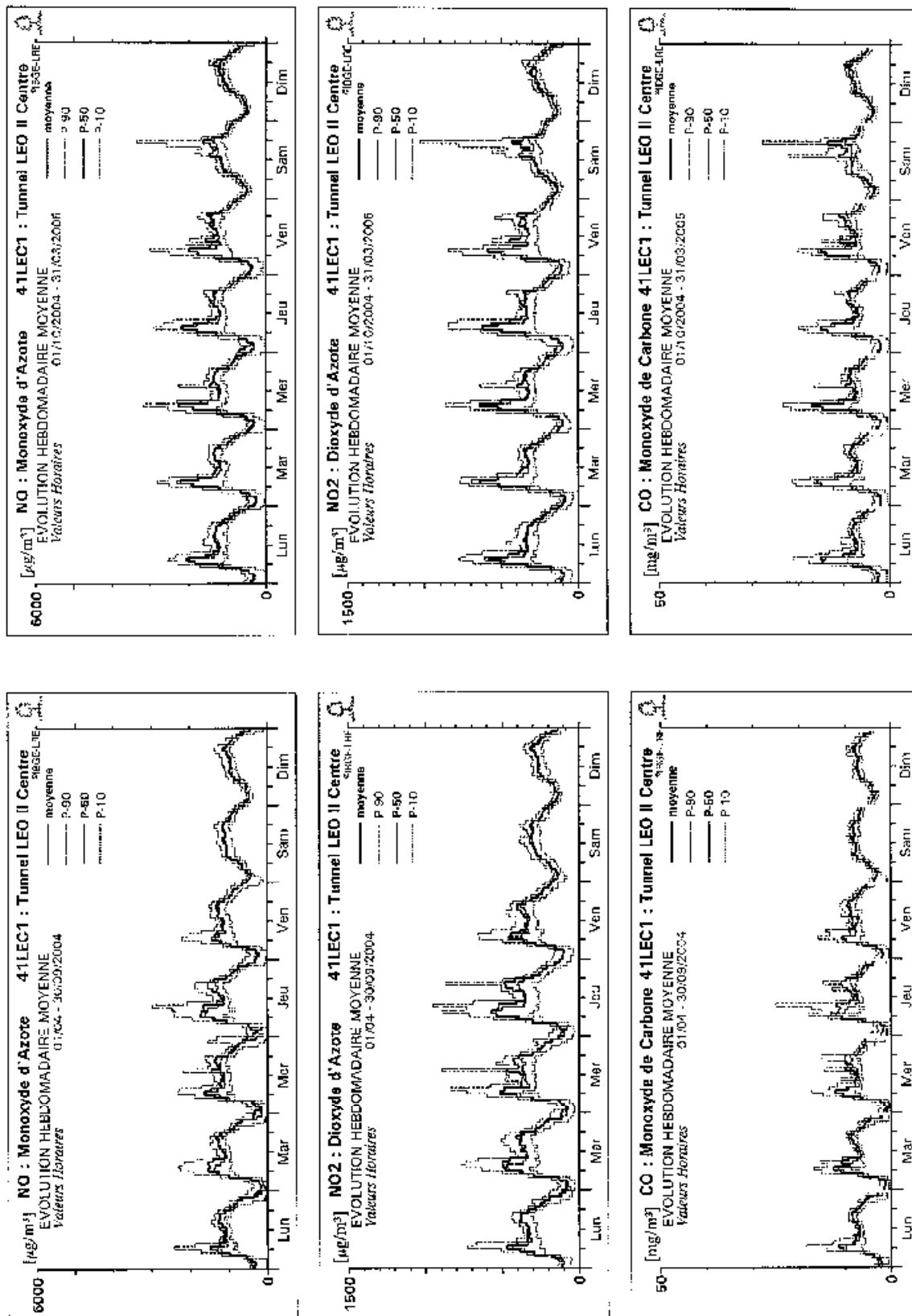


Fig. 18 : Poste de Mesure 41LEC1 (centre) – Évolution hebdomadaire moyenne - NO, NO₂ et CO
 Période estivale 2004 et période hivernale 2004 - 2005

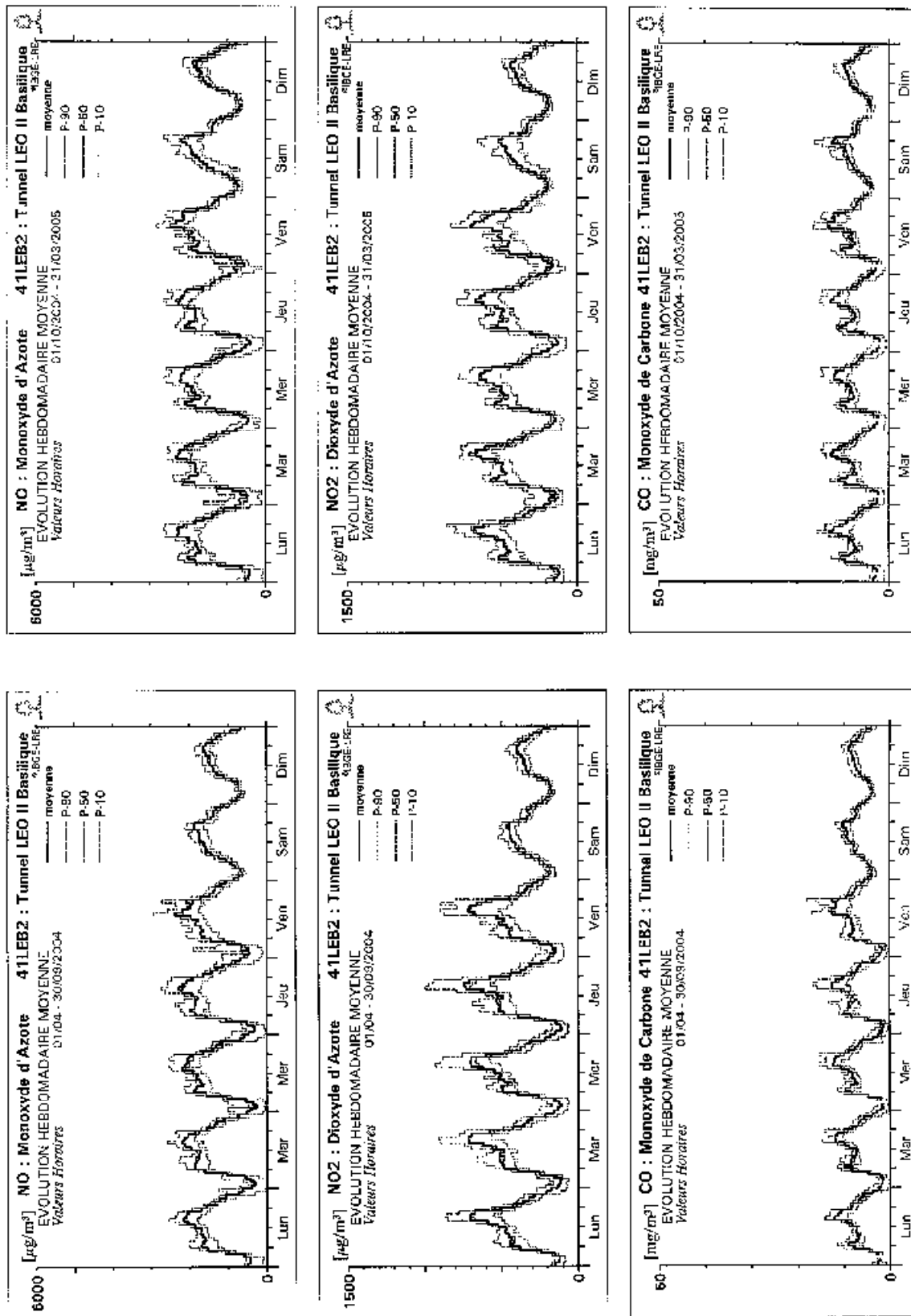


Fig. 19 : Poste de Mesure 41LEB2 (basilique) – Évolution hebdomadaire moyenne - NO, NO₂ et CO
 Période estivale 2004 et période hivernale 2004 - 2005

4.6 Résultats d'une journée sans voiture

Le dimanche 19 septembre 2004, dans le cadre d'une action européenne, la Région de Bruxelles-Capitale a organisé une journée sans voiture. De 9 à 19 h, heure locale (7 à 17 h TU), le trafic motorisé privé a été pratiquement complètement interdit sur l'entièreté du territoire de la Région.

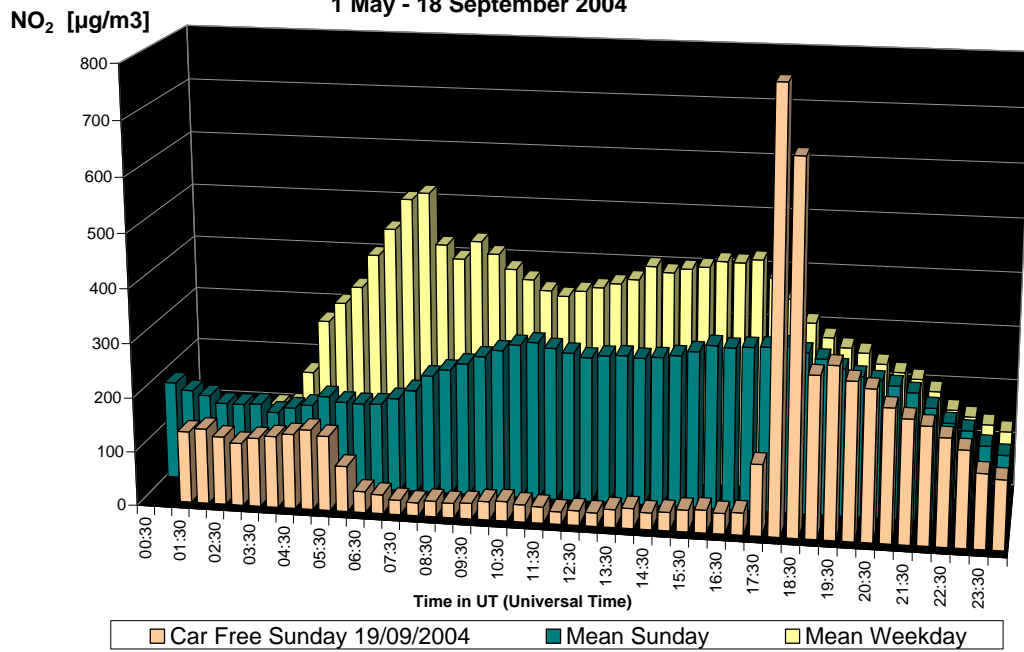
Les figures 20, 21 et 22 donnent l'évolution journalière des concentrations en NO₂, NO et CO. Les graphiques du dessus montrent les résultats pour le poste de mesure en direction du centre (LEC1). Les graphiques du dessous donnent les résultats pour le poste en direction de la basilique (LEB2).

Chaque graphique représente l'évolution de trois séries de données : les valeurs semi-horaires du dimanche sans voiture (19 septembre 2004), le profil journalier d'un dimanche moyen de la période 1 mai - 18 septembre 2004 et le profil journalier moyen d'un jour ouvrable de la même période.

Les graphiques des différents paramètres mesurés permettent de constater que le dimanche sans voiture, entre 7 et 17 h TU (19 à 19 heure locale), les concentrations dans le tunnel étaient nettement plus basses qu'un dimanche moyen.

Dans les deux postes de mesure la baisse des concentrations se remarque tout de suite, à partir de 7 h TU (9 h temps local) jusque 17 h TU (19 h temps local), sur toute la période d'interdiction. Après la fin de la période d'interdiction, les concentrations augmentent immédiatement et après une demi-heure, les concentrations habituelles dans les tunnels sont atteintes.

LEC1 : Tunnel Léopold II - Centre
Car Free Day, Mean Sunday and Mean Weekday
1 May - 18 September 2004



LEB2 : Tunnel Léopold II - Basilique
Car Free Day, Mean Sunday and Mean Weekday
1 May - 18 September 2004

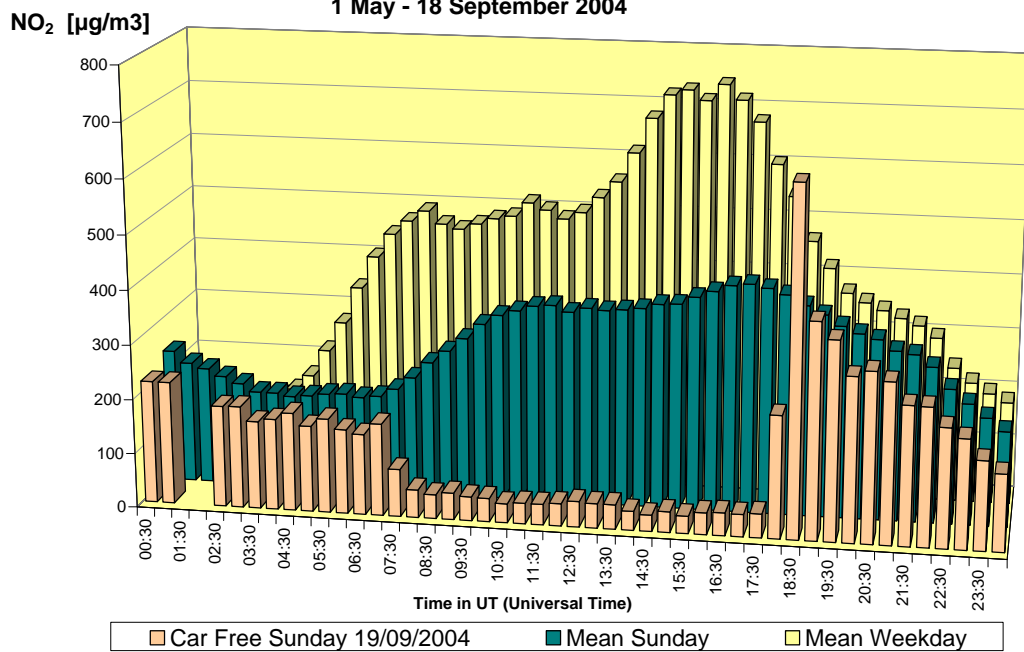
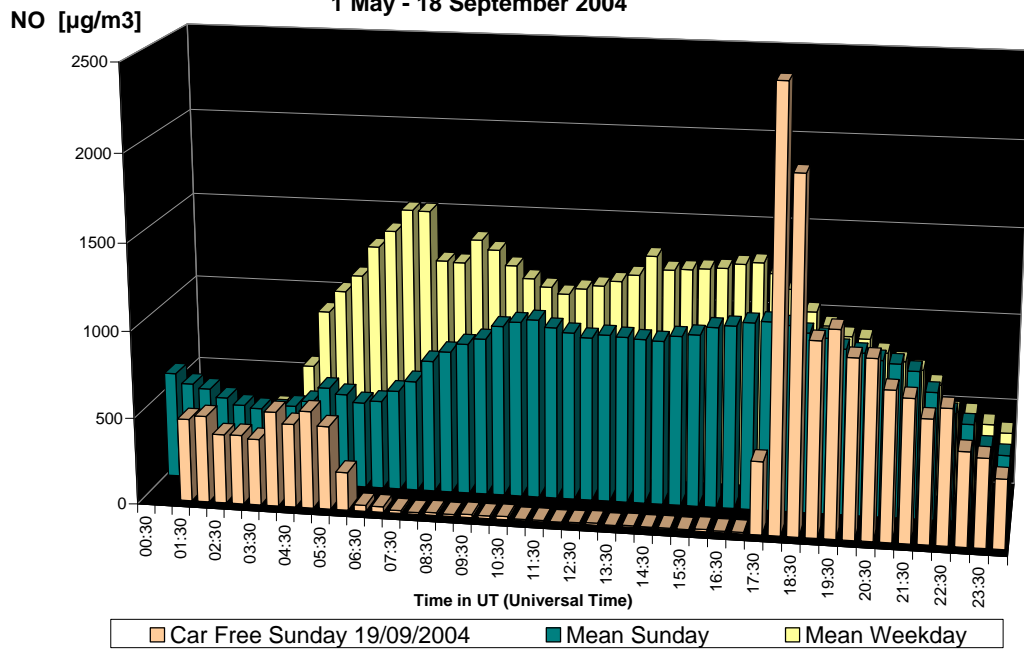


Fig. 20 : NO₂ – évolution journalière dans les deux postes de mesure
 Comparaison entre un dimanche sans voiture (19/09/2004), un dimanche moyen et un
 jour ouvrable moyen de la période *mai – septembre 2004*

LEC1 : Tunnel Léopold II - Centre
Car Free Day, Mean Sunday and Mean Weekday
1 May - 18 September 2004



LEB2 : Tunnel Léopold II - Basilique
Car Free Day, Mean Sunday and Mean Weekday
1 May - 18 September 2004

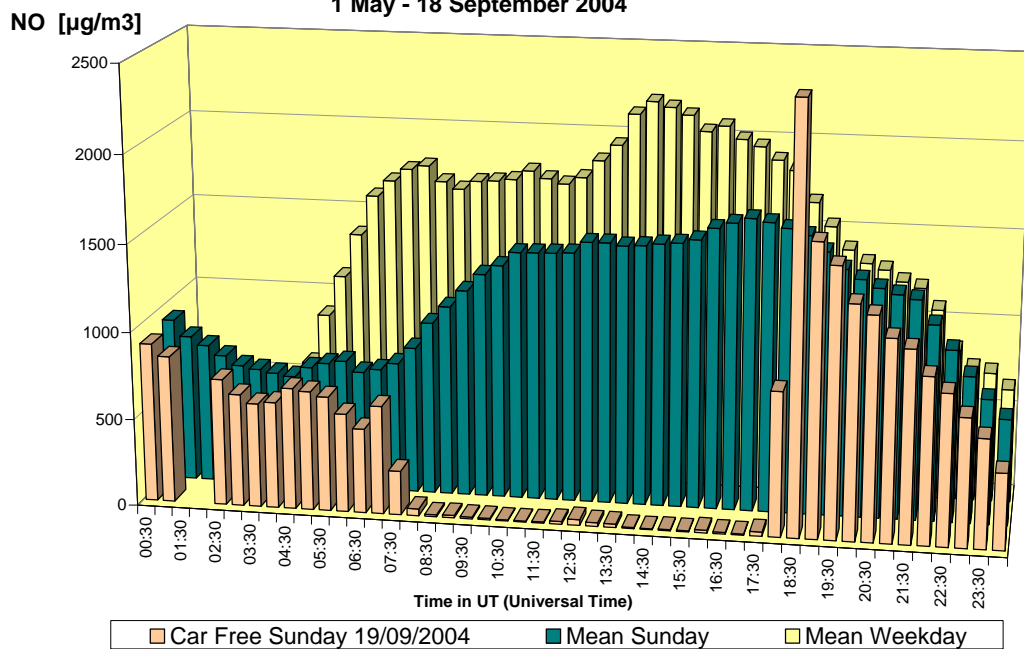


Fig. 21 : NO – évolution journalière dans les deux postes de mesure
 Comparaison entre un dimanche sans voiture (19/09/2004), un dimanche moyen et un
 jour ouvrable moyen de la période *mai – septembre 2004*

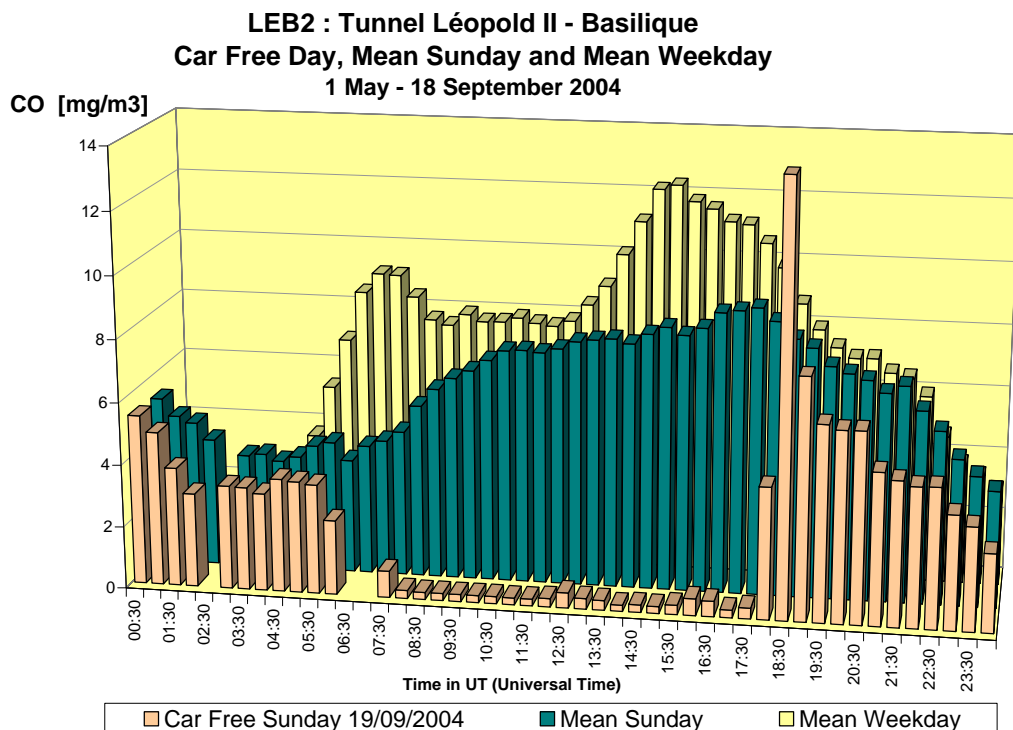
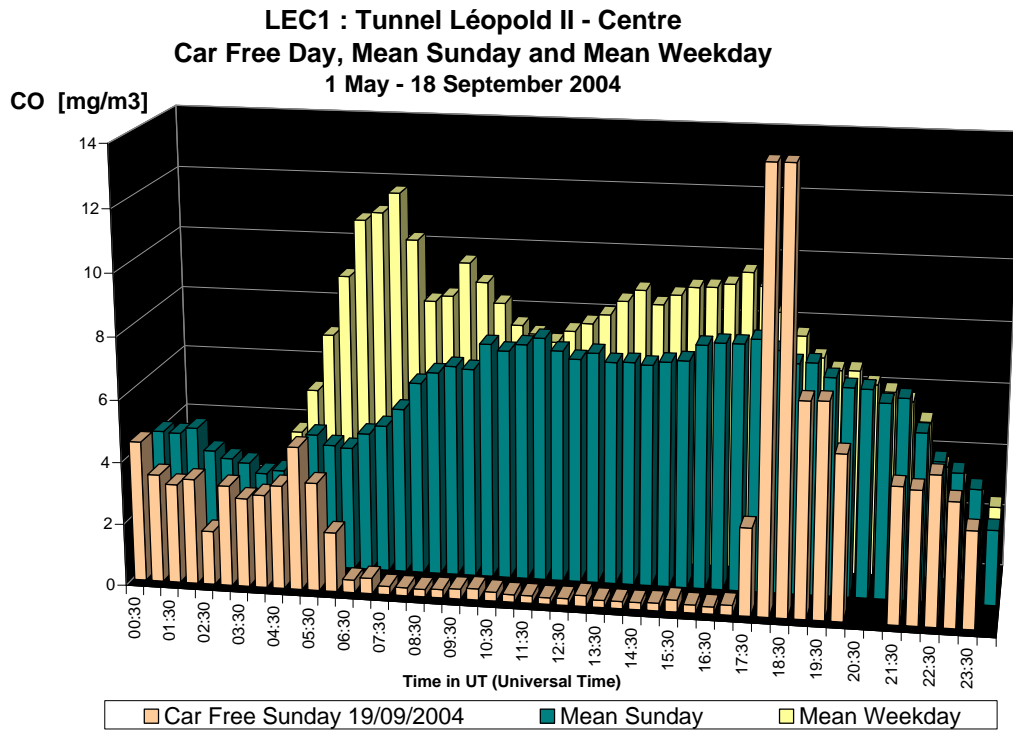


Fig. 22 : CO – évolution journalière dans les deux postes de mesure
 Comparaison entre un dimanche sans voiture (19/09/2004), un dimanche moyen et un jour ouvrable moyen de la période *mai – septembre 2004*

4.7 Résultats Tunnel et postes de mesures Trafic

Les niveaux de concentration relevés dans le tunnel sont plusieurs fois plus élevés que les niveaux dans l'air ambiant aux points de mesure avec trafic important.

Le réseau télémétrique de contrôle de la qualité de l'air en Région de Bruxelles-Capitale comporte deux postes de mesure orientés trafic: Avenue de la Couronne à Ixelles (R002), une rue de type "canyon" avec beaucoup de trafic et le carrefour Arts-Loi (B003).

Pour les jours ouvrables de la période hivernale *octobre 2004 – mars 2005*, les profils journaliers moyens calculés pour ces deux postes de mesure sont comparés avec ceux des postes de mesure du tunnel Leopold II. Les résultats pour le CO sont représentés à la figure 23 et ceux du NO₂ à la figure 24.

Les concentrations moyennes dans le tunnel sont, pour le CO et le NO, 10 fois plus élevées qu'aux points de mesure extérieurs et 5 fois plus élevées pour le NO₂.

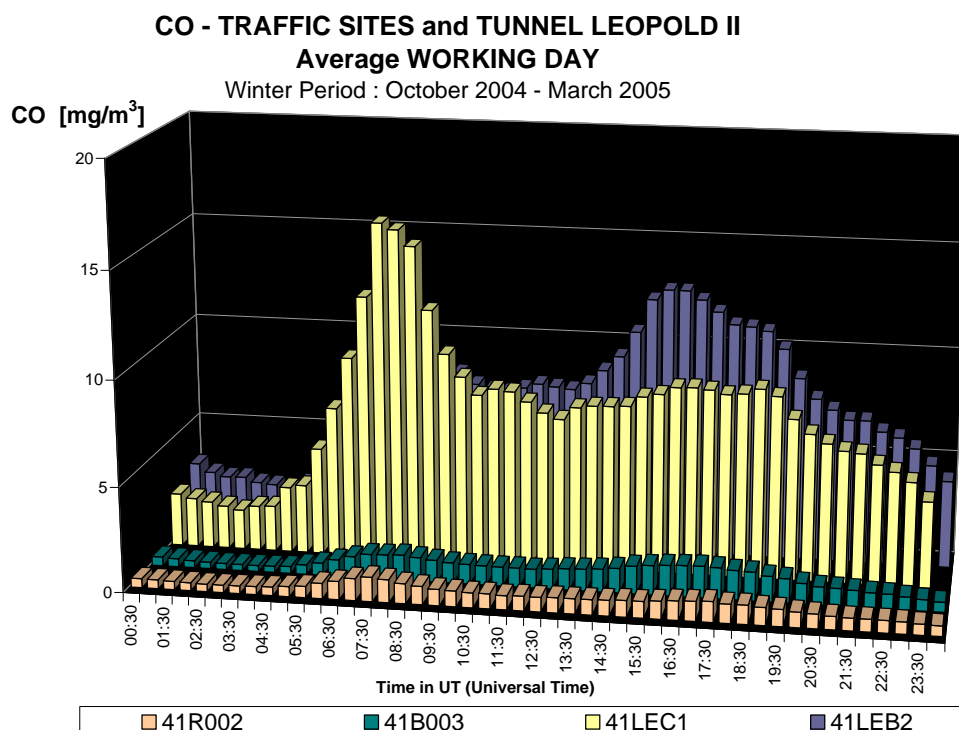


Fig. 23 : CO - Évolution journalière moyenne d'un jour ouvrable moyen (*hiver 2004-2005*)
Postes de mesure trafic à l'air ambiant – Av. de la Couronne (R002) et Arts-Loi (B003)
Postes de mesure du Tunnel Léopold II – LEC1 (Centre) et LEB2 (Basilique)

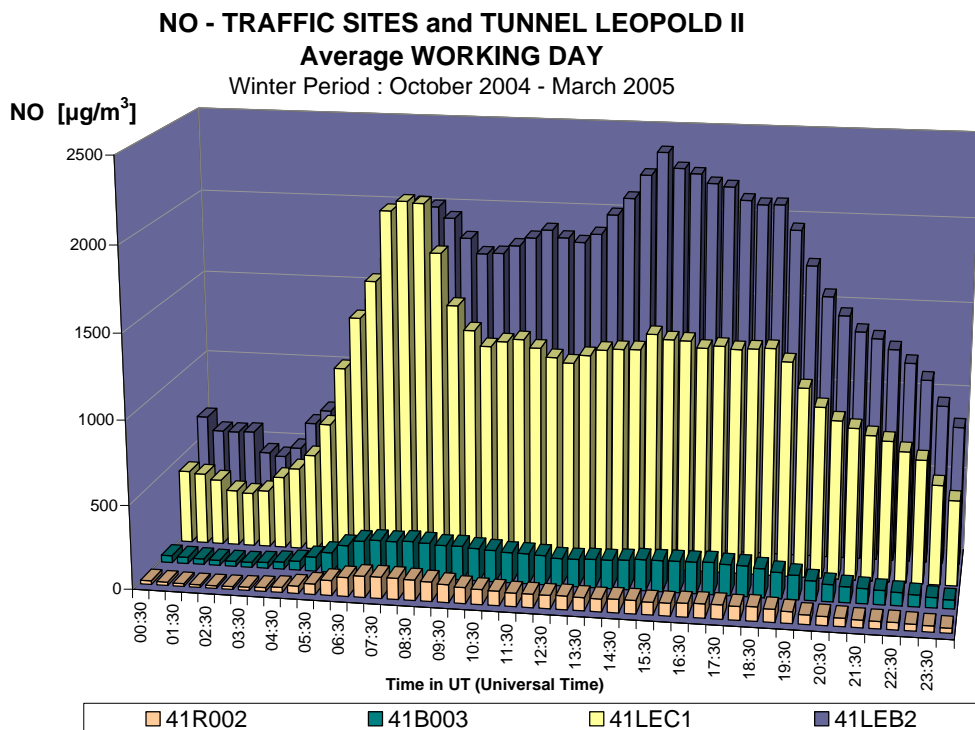
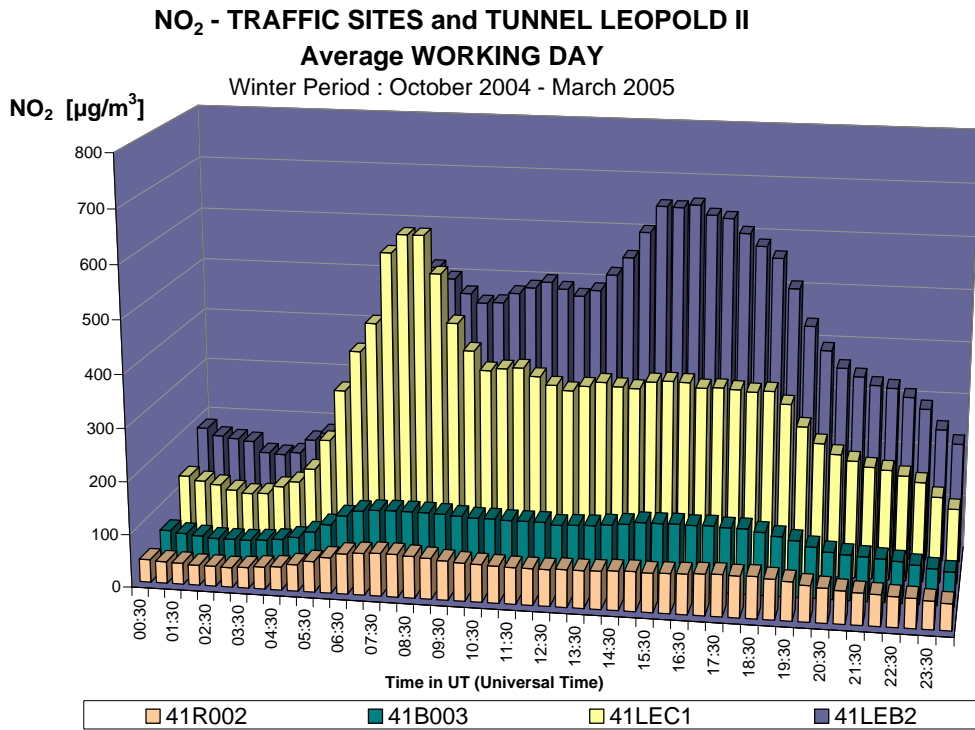


Fig. 24 : NO₂ et NO - Évolution journalière moyenne d'un jour ouvrable moyen (*hiver 2004-2005*)
 Postes de mesure trafic à l'air ambiant – Av. de la Couronne (R002) et Arts-Loi (B003)
 Postes de mesure du Tunnel Léopold II – LEC1 (Centre) et LEB2 (Basilique)

Résumé

Postes de mesure: au cours de l'an 2002 deux nouveaux postes de mesure permanents ont été installés dans le tunnel Léopold II, un dans chaque sens. Un des postes de mesure (41LEC1) se trouve dans le tronçon de tunnel en direction du centre. La tête d'aspiration de l'air se trouve à quelques centaines de mètres de la fin du tunnel (poste de secours 111). A cet endroit il y a des risques de formation de files à l'heure de pointe du matin.

L'autre poste de mesure (41LEB2), est installé dans un local technique du complexe Simonis. La tête d'aspiration se trouve dans le tronçon de tunnel en direction de la basilique de Koekelberg. Ce point de mesure se trouve à plusieurs centaines de mètres de la fin du tunnel. Vu la présence de feux tricolores à la fin du tunnel, l'influence de la formation de file peut se faire sentir à ce poste, par exemple lors de l'heure de pointe du soir.

Réglementation: l'arrêté du gouvernement de Bruxelles-Capitale sur la qualité de l'air dans les tunnels routiers du 22 décembre 1994 fixe des valeurs limites pour le CO et le NO₂ qui ne peuvent pas être dépassées:

- *Pour le monoxyde de carbone (CO) :*
 - o 100 ppm en moyenne sur l'ensemble des capteurs-analyseurs internes au tunnel considéré, pour une durée d'exposition maximale d'une demi-heure

- *Pour le dioxyde d'azote (NO₂) :*
 - o 1.000 µg/m³ (microgrammes par mètre cube) pour une durée d'exposition maximale de 20 minutes

 - o 400 µg/m³ (microgrammes par mètre cube) pour une durée d'exposition d'une heure

 - o variation linéaire entre les deux valeurs précitées pour une durée d'exposition de 20 minutes à 1 heure (p.ex. 850 µg/m³ pour une demi-heure)

Les valeurs limites dans les tunnels lient de façon explicite la durée d'exposition et la concentration qui lui est associée. Cela signifie que la concentration horaire de NO₂ ne peut pas être supérieure à 400 µg/m³ quand le temps d'exposition effectif est d'une heure.

Par expérience, on peut constater qu'il y a peu de chance que des automobilistes soient bloqués pendant une heure dans le tunnel Léopold II. Par contre il peut arriver que des automobilistes séjournent pendant 20 minutes, ou plus, dans ce tunnel, p.ex. lors des heures de pointe du matin ou du soir. Au ralenti ou dans les files, les émissions de NO₂ et de CO augmentent. Les automobilistes restent donc plus longtemps aux endroits où les concentrations sont les plus élevées.

Résultats: Pour le CO, la valeur limite est de 100 ppm (= 116,5 mg/m³) pour une exposition de 30 minutes. Au cours de l'année 2004, la valeur limite pour le CO été dépassée une seule fois. Le mercredi 15 septembre à 23:30 h TU (01:30 h temps locale) la valeur de 135,69 mg/m³ CO a été notée dans le poste en direction du centre. Probablement s'agit-il ici d'un dépassement causé par les travaux d'entretien.

Pour le NO₂, il y a une valeur limite de 400 µg/m³ pour une exposition d'une heure et une valeur limite de 850 µg/m³ pour une exposition de 30 minutes. Le niveau de 850 µg/m³ se situe, pour les deux postes de mesure, entre les centiles P99 et P99.5. Cela signifie qu'en 2004, comme en 2003, les dépassements du niveau de 850 µg/m³ représentent moins de 1 % de toutes les valeurs semi-horaires.

Pour le niveau de 850 µg/m³ on constate en 2004 pour le poste en direction du centre une augmentation du nombre de dépassements de 24% : 189 valeurs semi-horaires en 81 jours en 2004 à comparer à 152 valeurs semi-horaires en 71 jours en 2003. Dans le poste de mesure en direction de la basilique le nombre de dépassements à doublé : 190 valeurs semi-horaires en 73 jours en 2004 à comparer à 90 valeurs semi-horaires en 55 jours en 2003. Cette augmentation du nombre de dépassements se situe principalement en septembre (direction basilique) et octobre 2004 (direction centre).

Le niveau de 400 µg/m³ se situe entre P80 et P90 pour le poste de mesure 41LEC1 et entre P50 et P60 pour le poste de mesure 41LEB2. Cela signifie que le nombre de valeurs horaires supérieures à 400 µg/m³ représentent plus de 10% du total des valeurs horaires pour le poste de mesure en direction du centre et plus de 40% du total des valeurs horaires pour le poste de mesure en direction de la basilique.

Pour le poste de mesure en direction de la basilique, le nombre de valeurs horaires supérieures à 400 µg/m³ atteint plus de 50% du nombre de valeurs horaires les *jours ouvrables* et environ 20 % du nombre de valeurs horaires les *jours non ouvrables*. Pour le poste de mesure en direction du centre, cela devient plus de 10% du nombre des valeurs horaires les *jours ouvrables* et environ 2% du nombre de valeurs horaires les *jours non ouvrables*.

Pour tous les polluants, les concentrations mesurées sont *en moyenne plus élevées* les *jours ouvrables* que les jours non ouvrables. La moyenne horaire du NO₂ atteint 298 µg/m³ (direction centre) et 404 µg/m³ (direction basilique) les jours ouvrables contre respectivement 235 µg/m³ et 309 µg/m³ les jours non ouvrables.

En 2004 on constate pour le NO₂ une légère croissance du niveau des centiles les plus élevés (p.ex. P98), tandis que la concentration moyenne est quasi identique à celle de 2003. Par contre pour le NO et le CO on constate une légère baisse des niveaux moyens ainsi que des niveaux de centiles les plus élevés.

Les niveaux de concentration relevés dans le tunnel sont plusieurs fois plus élevés que les niveaux à l'air ambiant. En moyenne, les concentrations de CO et de NO dans le tunnel sont 10 fois plus élevées, et pour le NO₂ 5 fois plus élevées, qu'aux points de mesure extérieurs.

Dépassements: le nombre de valeurs de pointe, notamment les dépassements de la valeur seuil de **1000 µg/m³** en **moyenne sur 20 minutes**, est nettement plus élevé au point de mesure en direction du centre. Sur toute l'année 2004, on y a constaté 278 dépassements en 74 jours contre 184 en 50 jours dans le poste de mesure en direction de la basilique.

En 2004, on constate une augmentation nette du nombre de dépassements de ce seuil : plus de 30% en plus dans le poste de mesure en direction de centre (212 périodes en 66 jours en 2003) et dans le poste en direction de la basilique le nombre de dépassements a triplé (58 périodes en 27 jours en 2003). On constate surtout une augmentation du nombre de dépassements durant les mois de septembre (direction basilique) et d'octobre 2004 (direction centre).

Au point de mesure en direction du centre, les valeurs élevées se produisent surtout les jours ouvrables pendant la période de pointe du matin et, dans une moindre mesure, en cours de journée ou dans la soirée. On note également 24 dépassements les jours de week-end : 6 samedis (p.ex. le samedi après midi) et 3 dimanches. En direction de la basilique, les pics de pollution se produisent exclusivement les jours ouvrables pendant l'heure de pointe du soir.

Le nombre de pics (au cours de la journée ou de la soirée) au point de mesure en direction du centre pourrait probablement être encore réduit si le signal de mesure des concentrations NO₂ était pris en compte dans l'algorithme de commande de la ventilation du tunnel.

Dans le poste de mesure en direction de la basilique, le seuil de **400 µg/m³** en tant que **valeur horaire** est fréquemment dépassé: avec 250 à 350 valeurs horaires par mois, 26 à 30 jours par mois ou en moyenne une dizaine de dépassements par jour. Dans le poste de mesure en direction du centre ce seuil est dépassé moins souvent : 20 à 140 dépassements par mois, répartis sur 8 à 26 jours ou en moyenne quatre heures de dépassements par jour.

Pour faire baisser les concentrations moyennes et le nombre de dépassements de ce seuil, une ventilation continue sur de plus longues périodes serait nécessaire.

Profil journalier et hebdomadaire: dans les deux postes de mesure, et pour tous les paramètres mesurés (NO₂, NO et CO), les concentrations sont en moyenne les plus élevées les jours ouvrables et en moyenne plus élevées les samedis que les dimanches.

Dans le poste de mesure en direction du centre, on constate pour le jour ouvrable moyen de la période hivernale *octobre 2004-mars 2005*, un pic matinal très net. Ce pic matinal disparaît en grande partie ou complètement pendant la période estivale *avril – septembre 2004*.

Les concentrations généralement plus élevées durant la période de pointe du matin montrent la formation régulière de files à la sortie du tunnel. L'absence de ces concentrations plus élevées durant la période estivale est probablement due en partie à la formation moins fréquente de files (moins de trafic).

Au point de mesure en direction de la basilique, il y a, les jours ouvrables pendant la période hivernale 2004/2005, une légère augmentation de la concentration lors de la pointe du matin. En fin d'après-midi et jusque dans la soirée, il y a en permanence des concentrations élevées. Pour le NO et le NO₂, on ne peut cependant pas parler d'un véritable pic de concentration. Les pics du matin et du soir pour le CO se profilent de façon un peu plus nette.

Une dimanche sans voiture: le dimanche 19 septembre 2004, dans le cadre d'une action européenne, la Région de Bruxelles-Capitale a organisé une journée sans voiture. De 9 à 19 h heure locale (7 à 17 h TU), le trafic motorisé privé a été pratiquement complètement interdit sur l'entièreté du territoire de la Région.

Le profil journalier des concentrations (figures 20 à 22) permet de constater que le dimanche sans voiture, durant la période d'interdiction, les concentrations dans le tunnel étaient nettement plus basses qu'un dimanche moyen.

Table de Matières

Mesures de la Qualité de l'Air dans le tunnel Léopold II	1
1. Postes de mesure	2
2. Programme de mesure	2
3. Réglementation	4
4. Résultats	5
4.1 Évolution graphique des données de mesures	5
4.2 Distribution de Fréquences Cumulées	11
4.3 Dépassements	22
4.4 Profil journalier moyen	31
4.5 Profil hebdomadaire moyen	38
4.6 Résultats d'une journée sans voiture	41
4.7 Résultats Tunnel et postes de mesures Trafic	45